



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

VÝROBA CHLADU

PRODUCTION OF COLD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

SLAVOMÍR SOLÁR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR KRACÍK

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Slavomír Solář

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba chladu

v anglickém jazyce:

Production of cold

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je popsat výrobu chladu a s tím spojené důsledky na životní prostředí.

Cíle bakalářské práce:

- popište hlavní metody výroby chladu
- porovnejte různé metody výroby chladu a uveďte praktické realizace
- popište zákonné rámce, které by měly splňovat chladicí jednotky
- zhodnoťte vliv výroby chladu na životní prostředí

Seznam odborné literatury:

Chyský, J.- Hemzal, K. a kol.: Větrání a klimatizace. Technický průvodce sv.31. BOLIT - B press, Brno 1993

Mc.Quiston, F.C.- Parker, J.D.-Spitler, J.D.: Heating, Ventilating, and Air Conditioning. John Wiley and Sons, 2005

Firemní literatura.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Kracík

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 8.10.2012



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Táto práca je zameraná na popis výroby chladu a charakteristiku dvoch základných typov chladiacich jednotiek. Takisto sú tu zahrnuté výpočty na porovnanie týchto jednotiek z hľadiska spotreby a prevádzkových nákladov. Časť práce je venovaná aplikáciám zariadení v Českej republike a vo svete, kde sa využíva systém diaľkového chladenia. Dôležité je taktiež oboznámiť sa s legislatívou a nariadeniami spojenými s produkciou chladu a manipuláciou so zariadeniami a chladiivami.

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on description of cool production and properties of two basic cooling units. There are also included calculations for comparing these two units in term of consumption and operating expenses. Part of labour is devoted to applications of units in Czech Republic and rest of World, where the system of district cooling is used. It is also important to acquaint with legislation and regulations, which are related with production of cool and manipulation with equipments and refrigerants.

KĹÚČOVÉ SLOVÁ

Výroba chladu, absorpčná jednotka, kompresorová jednotka, diaľkové chladenie

KEYWORDS

Cool production, absorption unit, compressor unit, district cooling

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

SOLÁR, S. Výroba chladu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 53 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Kracík.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému Výroba chladu vypracoval samostatne s pomocou vedúceho práce, odbornej literatúry a zdrojov uvedených v zozname.

V Brne dňa:

.....

Slavomír Soľár

POĎAKOVANIE

V tomto odstavci by som sa chcel poďakovať predovšetkým pánovi Ing. Petrovi Kracíkovi za pomoc a rady pri riešení tejto bakalárskej práce. Taktiež by som chcel poďakovať mojim spolubývajúcim za podporu, názory a pripomienky počas celej doterajšej doby môjho štúdia.

Výroba chladu

OBSAH

ÚVOD.....	13
1. CHLAD A POTREBA JEHO PRODUKCIE.....	14
2. ZÁKLADNÉ METÓDY VÝROBY CHLADU	15
2.1 Fyzikálny princíp	15
2.2 Základné jednotky (zariadenia)	15
2.2.1 Kompresorová jednotka	16
2.2.2 Absorpčná jednotka jednookruhová.....	17
2.2.3 Absorpčná jednotka dvojokruhová	18
2.3 Porovnanie základných jednotiek	19
2.4 Energetická efektívnosť	19
3. TRIGENERÁCIA.....	21
3.1 Kogenerácia a výroba chladu	21
3.2 Trigeneračné jednotky	21
3.3 Sorpčné obehly	22
3.4 Ekonomické hľadisko trigenerácie	23
4. APLIKÁCIE CHLADIACICH JEDNOTIEK.....	24
4.1 Diaľkové zásobovanie chladom	24
4.2 Chladiace jednotky v Českej republike	25
4.2.1 Plzeňský pivovar Prazdroj	25
4.2.2 Fakultná nemocnica v Plzni	27
4.2.3 Europark Shopping Center Praha - Štěřboholy.....	27
4.2.4 Jihočeské muzeum L.B. Schneidera, České Budějovice.....	27
4.2.5 Parkhotel Plzeň	27
4.2.6 Galerie Slovany, Plzeň.....	28
4.2.7 Další chladiace jednotky v ČR.....	28
4.3 Chladiace jednotky vo svete.....	29
4.3.1 Diaľkové chladenie v Štokholme [17]	29
4.3.2 Diaľkové chladenie v Paríži.....	31
4.3.3 Centralizovaná klimatizácia v Barcelone [19]	33

Výroba chladu

4.3.4 Další aplikace jednotek	34
5. VÝPOČTY	36
5.1 Vyhodnotenie absorpčnej chladiacej jednotky	36
5.2 Výpočet účinnosti Carnotovho cyklu	41
6. LEGISLATÍVA A OCHRANA ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA	44
6.1 Legislatíva ČR	44
6.2 ČSN EN 378-1+A2:2012	44
6.3 Montrealský a Kyótsky protokol	44
6.4 Nariadenie Európskeho parlamentu a rady (ES) č. 1005/2009	46
6.5 Nariadenie 303/2008 o certifikáciách	47
6.6 Zákon č. 483/2008	47
ZÁVER	48
POUŽITÁ LITERATÚRA	49
ZOZNAM POUŽITÝCH VELIČÍN	52
ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	53

Výroba chladu

ÚVOD

Problematika výroby chladu je v dnešnej dobe veľmi atraktívna, keďže sa jedná o moderný proces, ktorý sa progresívne rozvíja a prispieva k lepšej životnej úrovni a komfortu ľudí. Popri bežnejších klimatizáciách sa vo svete čoraz častejšie stretávame s budovaním celých sietí a rozvodov chladu po štvrtiach či dokonca celých mestách.

Cieľom tejto bakalárskej práce je jednoduchým spôsobom popísať princíp procesu výroby chladu pomocou základných zariadení, ich hlavné výhody, nevýhody, energetickú efektívnosť a vzájomne ich porovnať. Dôležitým aspektom je takisto aplikácia týchto jednotiek. V Českej republike sú to väčšinou rozvody inštalované do nemocníc či obchodných domov, vo svete sa už vo väčších mestách úspešne rozvíja štruktúra diaľkového chladenia. V tejto kapitole sú tiež uvedené typy inštalovaných chladiacich zariadení a ich základné parametre. Z hľadiska vyššej flexibility, menšej ekonomickej náročnosti a možnosti efektívne spotrebúvať teplo celoročne sa rozvíja proces trigenerácie, čiže spojenia výroby chladu, tepla a elektrickej energie. Jedna kapitola sa ďalej venuje základným výpočtom, napríklad pre množstvo tepla, účinnosť a takisto pre spotrebu a tým aj prevádzkovú cenu oboch typov jednotiek, pričom sme si pre predstavu zvolili hodnotu 100 kW chladu, ktoré má dané zariadenie vyrobiť. V neposlednom rade je dôležitá aj legislatíva, zákony a nariadenia spojené s výrobou chladu, distribúciou a manipuláciou s pracovnými látkami. S tým je samozrejme spojená aj ochrana životného prostredia a prevencia proti znečisťovaniu.

Výroba chladu

1. CHLAD A POTREBA JEHO PRODUKCIE

Produkcia chladu má v súčasnosti stúpajúci trend, ktorý je spôsobený neustálym zvyšovaním nárokov v oblasti priemyslu, ako aj v prevádzke a komforte budov. Použitie pri konzervovaní potravín alebo výrobe kvapalného dusíka zo vzduchu sa využíva už dlhšie obdobie, no do popredia sa čoraz viac dostáva aj dôraz kladený na komfort v obytných, administratívnych či zdravotníckych inštitúciách. V dnešnej dobe môžeme sledovať, ako množstvo firiem používa vo svojich budovách klimatizácie, nezaobídu sa bez nej ani nákupné centrá a v neposlednom rade sú to domácnosti, ktoré si takisto zaobstarávajú zariadenia na produkciu chladu.

Existuje viacero príčin, pre ktoré sa potreba chladenia využíva čoraz viac. Je to v prvom rade konštruovaním nových budov tak, že vďaka preskleniu fasád a následným intenzívnejším pohlcovaním slnečného žiarenia rastie tepelný zisk danej stavby. Ďalším aspektom je množstvo spotrebičov v miestnostiach, ktoré musia byť neustále v prevádzke (servery, chladničky) ako aj ostatné spotrebiče dennej potreby, ktoré majú tiež určitý tepelný výkon. Podstatným dôvodom chladenia je takisto už vyššie spomínané pohodlie v prostredí obytných bytov, domov, kancelárií alebo obchodov. Teplota okolitého prostredia má veľký vplyv na aktivitu človeka, preto narastá snaha o reguláciu a dosiahnutie optimálnej teploty pre priaznivú bežnú, a hlavne pracovnú činnosť. [5]

V dôsledku vyššie menovaných dôvodov výroba chladu zaznamenáva vo svete rýchly rast a dá sa predpokladať, že o pár rokov sa dostane na úroveň výroby elektrickej energie a tepla. Z ekonomického aj environmentálneho hľadiska je takisto veľmi priaznivá spoločná výroba všetkých troch druhov energie – trigenerácia.

Výroba chladu

2. ZÁKLADNÉ METÓDY VÝROBY CHLADU

2.1 Fyzikálny princíp

Princíp výroby chladu je založený na II. termodynamickom zákone, ktorý hovorí, že teplo nemôže samovoľne prechádzať z telesa s nižšou teplotou na teleso s teplotou vyššou. Podľa tejto Clausiusovej formulácie je zrejmé, že chladenie látok si nepredstavíme ako dodávanie chladu ale vždy iba tak, že z nich odvádzame teplo. Ak chceme chlaďť určitú látku, musíme ju zapojiť do takého termodynamického procesu, pri ktorého realizácii potrebujeme dodať teplo. Zdrojom potrebného tepla v termodynamickom procese je práve látka, ktorú chceme chlaďť. Termodynamické deje, ktorým je potrebné dodávať určité množstvo tepla sa nazývajú zmeny skupenstva. Preto je vhodné uvažovať o takej skupenskej premene, kde je hodnota tepla vyššia. Skupenské teplo topenia, napríklad ľadu na vodu, má nižšiu hodnotu ako je hodnota tepla potrebného na vyparovanie kvapalných látok, preto nie je výhodné použiť ho pri chladení. [4]

Pod pojmom výroba chladu rozumieme prípravu studenej – chladienej vody, najčastejšie s teplotou 6°C, ktorá sa použije napríklad na klimatizáciu priestorov. Chladená voda sa zohreje v danom priestore, ktorý chceme ochlaďť napríklad na teplotu 12°C. Následne táto chladená voda teplo získané z priestoru odovzdá v chladiacom stroji pracovnej látke. [4]

2.2 Základné jednotky (zariadenia)

Na realizácii chladiaceho obehu sa podieľajú chladiace zariadenia, ktoré pracujú na rovnakom princípe, ako tepelné čerpadlá. Tepelná energia je získavaná z vysokotlakovej časti zariadenia (kondenzátora) ako úžitkový tepelný tok a dodávaná do nízkotlakovej časti obehu zariadenia (výparníka) z okolitého prostredia (vzduch, voda, pôda). [7]

Rozdiel medzi funkciou tepelného čerpadla a chladiaceho zariadenia je teda len v teplotnej úrovni získavaných a dodávaných energetických tokov. V tepelnom čerpadle teplotná úroveň toku energie do výparníka zodpovedá teplotnej úrovni okolitého prostredia (napr. voda, vzduch), teplotná úroveň úžitkového tepelného toku z kondenzátora zodpovedá požadovanej teplotnej úrovni vykurovacieho alebo iného ohrievacieho procesu. V chladiacom zariadení naopak tepelný tok z kondenzátora zodpovedá teplote okolitého prostredia používaného na chladenie kondenzátora (väčšinou okolitý vzduch alebo voda) a teplotná úroveň tepelného toku do výparníka musí zodpovedať požadovanej teplote chladienej látky.[7]

V súčasnej dobe sa vo svete využívajú dva základné typy zariadení na výrobu chladu. Väčšie zastúpenie má kompresorová jednotka, ktorej hlavnou nevýhodou je ale väčšia spotreba elektrickej energie oproti alternatívne - absorpčnej jednotke, ktorá ma na druhú stranu vyššie obstarávacie náklady.

Výroba chladu

2.2.1 Kompresorová jednotka

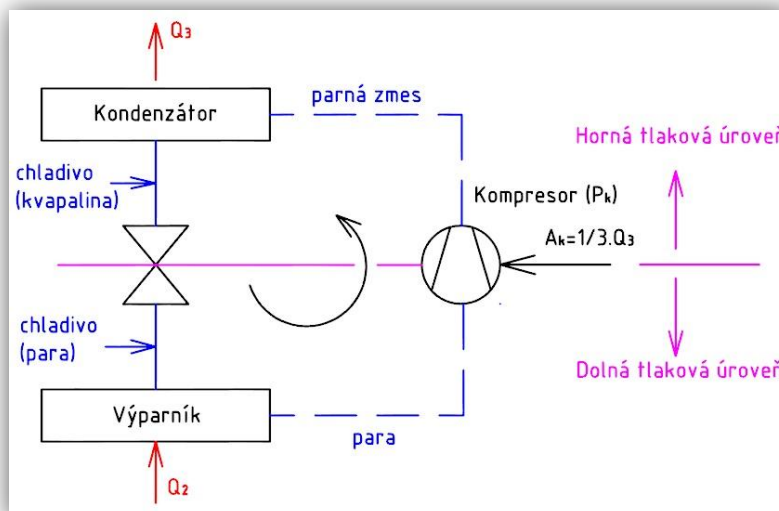
Hlavný podiel na výrobe chladu majú v súčasnosti kompresorové chladiace zariadenia, pracujúce na princípe parného chladiaceho obehu. Sú zložené zo štyroch hlavných častí [7]:

Výparník – vyparovanie chladiva pomocou tepelného toku z vonkajšieho prostredia

Kompresor – nasávanie a následné stláčanie pár chladiva. Kompresor je poháňaný zväčša elektromotorom, no používa sa taktiež piestový zážihový motor, ktorý využíva ako palivo zemný plyn alebo LPG. Takýto typ pohonu je rozšírený hlavne v Ázii.

Kondenzátor – ochladzovanie a následné skvapalňovanie pár chladiva

Škrtiaci ventil – znižovanie tlaku kvapalného chladiva



Obr. 1 Schéma kompresorovej jednotky [20]

Pary chladiva sú nasávané kompresorom, ktorý je hlavným hnacím prvkom obehu. Tieto pary sú ďalej komprimované na kondenzačný tlak, pričom stúpa teplota a parná zmes je vytlačovaná na hornú tlakovú úroveň do kondenzátora. V kondenzátore dochádza k ochladzovaniu a následnému skvapalňovaniu parnej zmesi chladiva pomocou chladiacej kvapaliny, ktorá odvádza uvoľnené teplo Q_3 . Táto skvapalnená zmes prechádza cez škrtiaci ventil, v ktorom sa reguluje kondenzačný tlak na tlak vyparovací a tým sa dostáva na dolnú tlakovú úroveň za vzniku mokrej pary. Vo výparníku mokrá para prudko zväčšuje svoj objem, tým pádom sa ochladzuje a prijíma teplo Q_2 od chladenej látky. Táto látka potom putuje do určenej oblasti, ktorú chladíme. Para, ktorá prijala teplo je opäť nasávaná kompresorom a tak je chladiaci obchod uzavretý a ďalej sa opakuje. [5], [7], [9]

Výroba chladu

2.2.2 Absorpčná jednotka jednookruhová

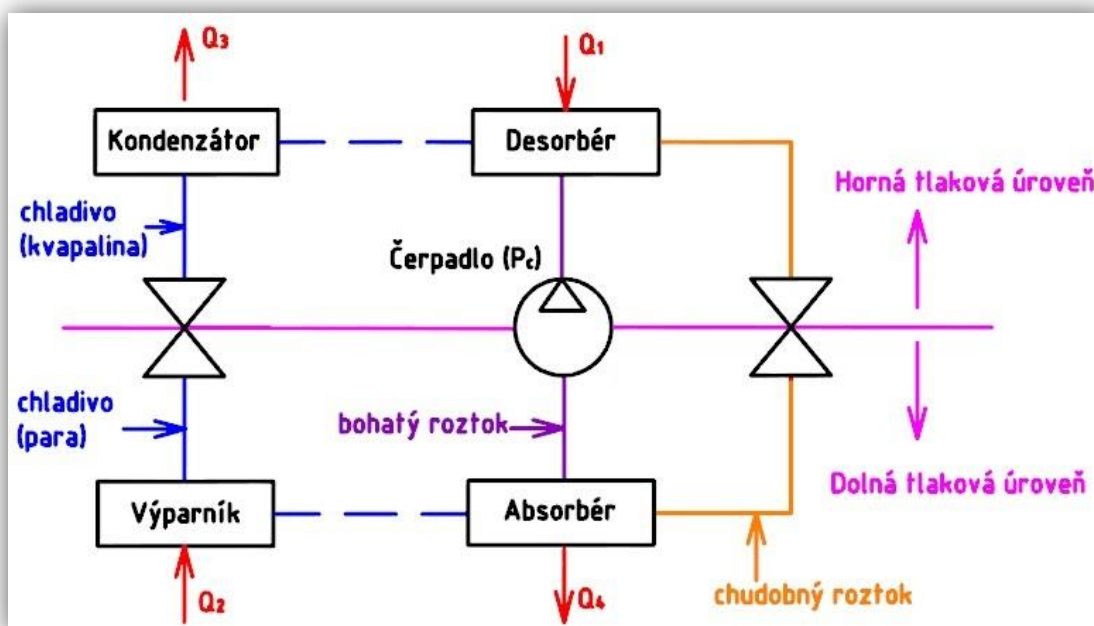
Absorpčné zariadenia pozostávajú z kondenzátora, škrtiaceho ventilu a výparníka, avšak stláčanie pár chladiva pomocou kompresora je nahradené procesmi, ktoré sa dejú v týchto troch komponentoch [5], [7]:

Absorbér – obsahuje absorbent, ktorý absorbuje pary inej látky(chladiva)

Absorbent je kvapalina alebo tuhá látka, ktorá vytvára s parami inej látky homogénny roztok. Ideálny absorbent je nevýbušný, netoxický, korozivodný a schopný pohltiť len žiadanú látku. Najpoužívanším absorbentom je Bromid lítny (LiBr), soľ, ktorá je extrémne hygroskopická. Okrem neho sa používa taktiež Hydroxid sodný (NaOH) alebo voda.

Čerpadlo (generátor) – stlačovanie roztoku absorbenta a chladiva. Energiu môžeme do generátora dodávať priamo (spaľovaním tepla prostredníctvom plynových horákov) alebo nepriamo pomocou výmenníkov tepla.

Desorbér – rozdeľovanie chladiva a desorbéru za nutnosti dodávania tepla



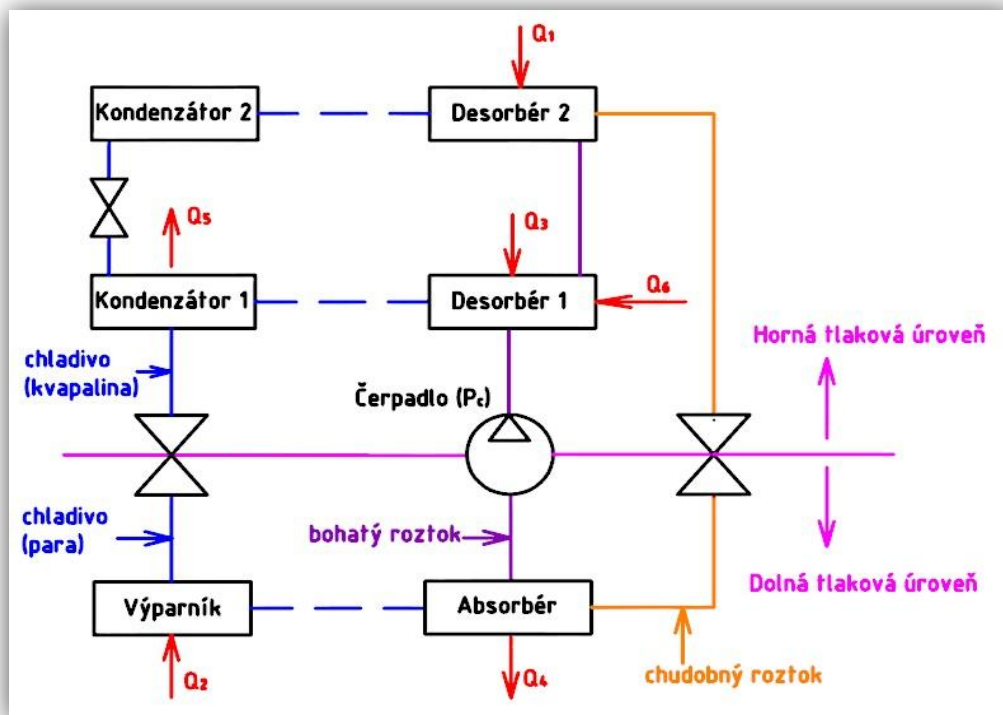
Obr. 2 Schéma jednookruhovej absorpčnej jednotky [20]

Výroba chladu

V absorpční jednotce je v oběhu absorpční látka a chladivo. Parná zmes putující z výparníka odchází do absorbéra, kde ju absorbent (absorpční látka – nejčastěji používaný je kvapalný roztok LiBr) pohltí a vznikne bohatý kvapalný roztok. Súčasne sa uvoľní absorpčné teplo Q_4 . Roztok prúdi do čerpadla, kde je stláčaný a tým sa dostáva na hornú tlakovú úroveň. Následne sa dostáva do desorbéra, kde sa dodáva teplo Q_1 – tepelná energia do cyklu, pomocou ktorej sa roztok zahreje a pary chladiva sa oddelia od absorbentu. Ten putuje v podobe chudobného roztoku späť cez škrtiaci ventil na dolnú tlakovú úroveň až do absorbéra. Zohriate chladiace pary sa dostávajú z desorbéra, cez kondenzátor a ventil až do výparníka, pričom tu prebiehajú rovnaké procesy, ako v prípade kompresorovej jednotky (skondenzovanie chladiva, škrtenie a premena na mokrú paru a následný príjem tepla od ochladzovanej látky vo výparníku). Parná zmes obohatená o teplo putuje opäť do absorbéra a tým je cyklus uzavretý. [5], [7]

2.2.3 Absorpčná jednotka dvojokruhová

Dvojokruhová, resp. dvojestupňová absorpčná jednotka je zložitejším prevedením systému chladenia, ktoré ale pracuje s vyššou účinnosťou, keďže opakované využíva teplo z kondenzátora. Táto jednotka pracuje pri vyšších hodnotách teplôt aj tlakov. [5]



Obr. 3 Schéma dvojokruhovej absorpčnej jednotky [20]

Výroba chladu

2.3 Porovnanie základných jednotiek

Ako už bolo spomínané, kompresorové jednotky majú stále dominantné postavenie, no v posledných rokoch zaznamenali absorpčné zariadenia veľký posun vpred, čo sa týka vývoja systému, predaja a tým aj zníženia ich ceny. Oba typy chladičov majú svoje prednosti, ako aj zápory [5], [7], [13]:

Kompresorové jednotky - Menšie rozmery a s tým spojená aj menšia celková hmotnosť

- Nižšia obstarávacía cena
- Takmer nulová požiadavka dodávania pracovných náplní, na druhú stranu ale vysoké nároky na spotrebu elektrickej energie

Absorpčné jednotky - Nízka spotreba elektrickej energie ale veľká požiadavka na dodávanie riadiaceho tepla do desorbéra

- Minimálna hlučnosť
- Vysoká životnosť
- Vyššia hodnota vstupnej investície, ktorá je však návratná v krátkom čase z dôvodu úspory elektriny
- Menšia záťaž pre životné prostredie
- Nevýhodou je potreba vysokého vákua

Oba druhy zariadení majú malé požiadavky týkajúce sa servisu aj obsluhy.

2.4 Energetická efektívnosť

Energetickú efektívnosť výroby energie je možné vyjadriť ako pomer kvantity vyrobenej energie na jednotku energie, ktorá zabezpečuje pohon danej jednotky (Tým sa myslí mechanický príkon kompresora alebo tepelný príkon generátora v prípade absorpčného cyklu). Daný pomer označujeme ako COP (z anglického „Coefficient Of Performance“), resp. výkonové číslo. V prípade chladenia môžeme bližšie špecifikovať toto číslo, konkrétne ako COP_c („cooling Coefficient Of Performance“). Z daného pomeru vyplýva, že čím väčšiu hodnotu COP systém nadobúda, tým viac vyprodukuje užitočnej energie na jednotku dodávanej pohonnej energie a je teda energeticky efektívnejší. Toto porovnanie ale platí iba v prípade systémov zariadení s rovnakým druhom pohonnej energie (Môžeme teda zhodnotiť COP medzi kompresorovými jednotkami s mechanickou alebo medzi absorpčnými jednotkami s tepelnou energiou). Kvantitatívne porovnanie výkonových čísel medzi oboma typmi zariadení nie je možné, keďže mechanická pohonná

Výroba chladu

energia

sa vyrába z tepelnej energie spaľovaním fosílnych palív v tepelných cykloch s určitou hodnotou účinnosti transformácie jednotlivých druhov energie (z chemickej energie paliva na tepelnú energiu a potom na mechanickú energiu). Hodnotou COP teda nemôžeme objektívne vyjadriť energetickú efektívnosť termodynamických obehov oboch jednotiek, pretože ju sa nedá obecné využiť pre porovnávanie systémov s rôznymi druhmi pohonnej energie. [1], [8]

Z tohto dôvodu sa pre porovnanie rôznych druhov jednotiek používa iná definícia energetickej efektívnosti, ktorú nazývame stupeň využitia primárnej energie a označujeme PER (z anglického „Primary Energy Rate“). Je definovaný ako pomer spotrebovanej pohonnej primárnej energie (tepelnej energie obsiahnutej vo fosílnom palive, ktorá je daná výhrevnosťou paliva) na jednotku vyrobenej užitočnej tepelnej energie. Čím nižšiu hodnotu PER bude systém dosahovať, tým spotrebuje menej primárnej energie na jednotku energie vyrobenej a tým je energeticky efektívnejší. Hodnoty COP aj PER výrazne závisia od teplotného rozdielu medzi kondenzačnou a výparnou teplotou systému. Dosiahnuteľné hodnoty COP a PER pre rôzne typy a pohonné energie systémov pri výparnej teplote 0 °C a kondenzačnej teplote 50 °C sú uvedené v tabuľke 1. [8]

Typ tepelného čerpadla	COP	PER
Kompresorový obeh, elektrická energia	3,5 ÷ 5,0	0,9 ÷ 0,6
Kompresorový obeh, spaľovací motor	1,1 ÷ 2,3	0,9 ÷ 0,4
Absorpčný obeh	0,9 ÷ 1,8	1,2 ÷ 0,6

Tab. 1 Hodnoty COP a PER pre vybrané typy jednotiek

Výroba chladu

3. TRIGENERÁCIA

3.1 Kogenerácia a výroba chladu

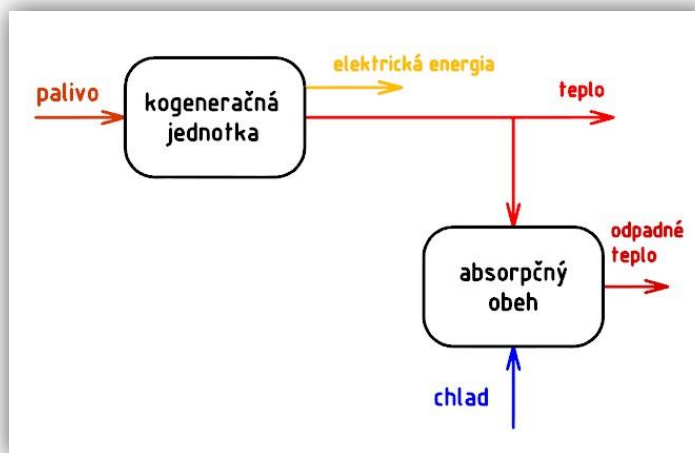
V dnešnej dobe čoraz viac narastá potreba výroby energie a zároveň je tu snaha zefektívniť túto výrobu ako z ekonomického, tak aj z environmentálneho hľadiska. Z týchto dôvodov je výhodná kombinovaná výroba elektriny a tepla nazývaná kogenerácia. Jej výhodou je šetrenie primárneho paliva oproti separovanej výrobe týchto dvoch druhov energií.

Zatiaľ čo ročná spotreba elektrickej energie v domácnostiach, nemocniciach, administratívnych budovách a pod. je viacmenej konštantná, spotreba tepla je výrazná najmä počas vykurovacej sezóny, teda počas jesenných a zimných mesiacov. Naopak, v letnom období pribúdajú požiadavky na chladenie objektov. Tento problém môže vyriešiť pripojenie chladiacej jednotky ku kogeneračnej. Takáto kombinovaná výroba elektriny, tepla a chladu sa nazýva trigenerácia.

3.2 Trigeneračné jednotky

Trigeneračná jednotka efektívne spotrebúva teplo, ktoré mimo vykurovacieho obdobia nie je využité. Týmto sa stáva výhodnejším riešením, keďže spotreba tepla mimo sezóny je hlavným limitujúcim faktorom pre veľkosť a efektivitu kogeneračnej jednotky. Pridaný chladiaci systém dané teplo využíva na výrobu chladu a tým sa dosiahne celoročný chod jednotky nielen z pohľadu výroby elektriny.

Trigeneračný systém je teda spojenie kogeneračnej a chladiacej jednotky tak, ako je to znázornené na Obr. 4. Využíva sa ako kompresor, ktorý je poháňaný elektromotorom, tak aj absorpčná alternatíva chladenia. [5], [20]



Obr. 4 Schéma trigeneračnej jednotky [20]

Výroba chladu

3.3 Sorpčné obeh

Hlavnou myšlienkou sorpčných obehov je zámena kompresie tepelným pochodom, kde sa využíva absorbent, ktorý pohlcuje pary chladiva, tento roztok je dopravený do ďalšieho výmenníka tepla s vyšším tlakom, kde je chladivo vypudzované z roztoku ďalej cez kondenzátor až do výparníka. Je dôležité rozlišovať sorpčné procesy, ktoré v zásade delíme na absorpciu, adsorpciu a iónovýmenu. [12]

Absorpcia je fyzikálno-chemický proces alebo jav, pri ktorom dochádza k pohlteniu/prechodu absorbovanej zložky (atómov, molekúl, iónov atď.) dovnútra hmoty/objemu absorbenta.

Adsorpcia je proces, pri ktorom sa látky (molekuly, ióny alebo radikály) rozdelia medzi dve fázy, pričom nastáva zvýšenie koncentrácie, alebo akumulácia adsorbovanej zložky na fázovom rozhraní. Zložka, ktorá sa adsorbuje, sa nazýva adsorbát. Tuhá fáza, ktorá adsorbuje adsorbát, sa nazýva adsorbent. Proces adsorpcie je založený na pôsobení rôznych druhov síl na fázovom rozhraní, ktorého výsledkom je koncentrovanie niektorých zložiek na danom rozhraní. Vzhľadom na typ síl spôsobujúcich adsorpciu sa rozlišuje najmä adsorpcia[12]:

- Fyzikálna - spôsobená najmä slabými Van der Waalsovými silami. Ide o reverzibilný proces, kde sa adsorbát môže viazať na povrch adsorbenta aj vo viacerých vrstvách, pričom sa dosahuje vyššia sorpčná kapacita.
- Chemická - vyžaduje existenciu príťažlivých síl chemického charakteru, ktoré sa označujú ako špecifický adsorpčný potenciál. Chemicky adsorbované látky vytvárajú vnútrofórové komplexy s funkčnými skupinami povrchu adsorbenta. Väzba adsorbátu a adsorbenta je pri chemickej adsorpcii pevnejšia ako pri fyzikálnej adsorpcii.

Rozlišujeme 4 základné druhy sorpčných obehov [11]:

- Absorpčný obeh s chladivom a kvapalným absorbentom. Tieto pracovné látky musia mať odlišné teploty bodu varu tak, aby mohli byť neobmedzene miešateľné s malým zmiešavacím teplom v celom rozsahu pracovných teplôt a tlakov.
- Absorpčný obeh, ktorý využíva tuhé látky adsorbujúce na svoj povrch chladivo pri nízkom tlaku. Pri vyššom tlaku a privádzaním tepla ho znova uvoľňujú. Takéto zariadenie pracuje periodicky, čo je zdrojom veľkých strát a nízkeho chladiaceho faktora, preto boli vyvinuté adsorpčné zariadenia s kontinuálnou prevádzkou (pomocou akumulácie chladu). Tie zároveň pracujú ako tepelné čerpadlo a dosahujú energetickú efektívnosť vyššiu ako bežne priemyselne pracujúce adsorpčné obeh, ktoré majú chladiaci faktor na úrovni cca 0,7 až 1.

Výroba chladu

- Resorpčný obeh, kde je pochod kondenzácie a vyparovania nahradený pochodom resorpcie (opätovnej absorpcie) a desorpcie (vypudzovania). Takýto typ obehu je veľmi zložitý, na druhej strane ale poskytuje možnosti veľmi hospodárnych zapojení.
- Difúzny obeh, ktorý nemá žiadne pohyblivé diely a nepotrebuje elektrický príkon. Chladivo sa vyparuje vo výparníku a difúziou preniká do atmosféry iného plynu. Takýto obeh sa používal so čpavkom ako chladivom, vodou ako absorbentom a vodíkom ako inertným plynom v absorpčných domácich chladničkách.

3.4 Ekonomické hľadisko trigenerácie

V porovnaní s kogeneračnou jednotkou je jasné, že so zavedením trigeneračného systému do prevádzky sú spojené vyššie investičné náklady, no táto kombinovaná výroba poskytuje väčšie zisky, ktoré je možné dosiahnuť počas doby životnosti zariadenia. Ak chceme zhodnotiť tieto zisky, musíme v prvom rade zohľadniť potrebu výroby a dodávania chladu v danej oblasti. Podrobná analýza sa vykonáva pre každý objekt samostatne podľa príslušnej platnej normy, avšak existuje niekoľko základných charakteristík, ktoré by mali systémy spĺňať [5]:

- Maximálny požadovaný chladiaci výkon sa blíži k 80 % výpočtového tepelného výkonu na vykurovanie.
- Ročný dopyt po chlade zodpovedá pribl. 25 % ročnému dopytu po teple.
- Medziročné porovnanie jednotlivých chladiacich sezón vykazuje podstatne väčšiu rôznorodosť, než vykazuje porovnanie vykurovacích sezón.

Výroba chladu

4. APLIKÁCIE CHLADIACICH JEDNOTIEK

So vzrastajúcim dopytom po chladení sa na celom svete rozvíjajú spoločnosti a rozširujú svoj sortiment v oblasti ponúkaných riešení výroby a dodávania chladu. Tieto produkty a služby využíva čoraz viac organizácií a významných inštitúcií, napríklad letiská v Berlíne a Ríme, sieť obchodov Tesco Stores (UK), Wall Mart (USA), výrobcovia elektroniky Bosch a T-Mobile center (D), automobilka Daimler Chrysler (D), výrobcovia cukrovínok Nestlé (Filipíny), Cadbury (Nigéria), Ferrero (Taliansko) alebo farmaceutická spoločnosť Johnson & Johnson (USA). [13]

4.1 Diaľkové zásobovanie chladom

Častým prípadom realizácie dodávania chladu je diaľkové zásobovanie, keďže mnoho odberateľov sa nachádza na už zastavanom území, kde nastáva problém umiestnenia chladiacej jednotky. Takýmto spôsobom môže byť chladom po nainštalovaní rozvodov zásobovaných viac budov, čo je samozrejme výhoda. Ďalším plusom pre odberateľa je outsourcing, čiže odber zdrojov z oblasti mimo podniku a s tým spojená aj skutočnosť, že firma má takto vyriešené technické zázemie a zároveň stabilnú cenu chladu. Nevýhodou môže byť finančná náročnosť pri budovaní a dimenzovaní rozvodov z dôvodu väčšieho množstva vody v obehu. [20]

Rozlišujeme 2 základné spôsoby realizácie zásobovania: [20]

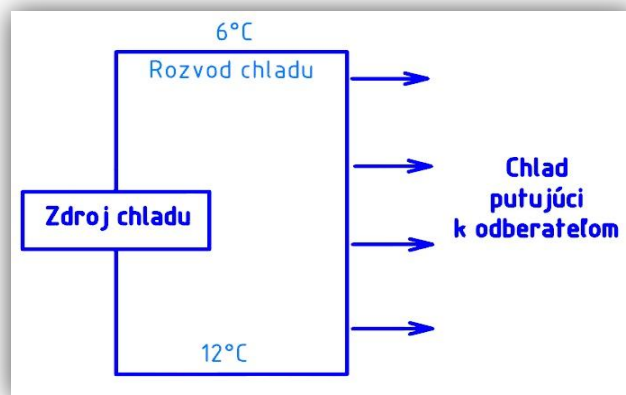
- Jeden centrálny zdroj výroby chladu, z ktorého rozvody odvádzajú produkt k odberateľovi.

Výhody - Potreba iba jednej jednotky vyrábajúcej chladnú vodu.

- Vyššie teploty riadiaceho tepla pre absorpčnú jednotku.

Nevýhody - Potrebná inštalácia rozvodov pre studenú vodu.

- Ohrev vody počas prepravy v potrubí.



Obr. 5 Schéma diaľkového chladenia s jedným centrálnym zdrojom [20]

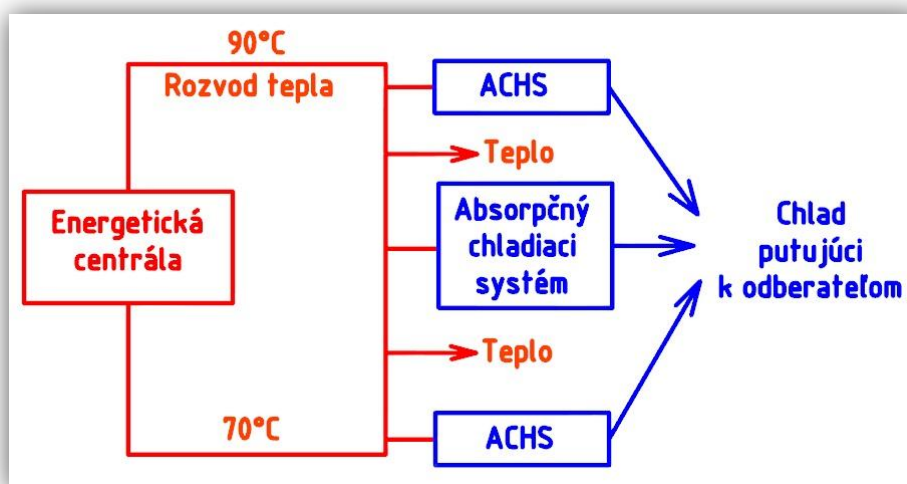
Výroba chladu

- Decentralizované absorpčné chladiace systémy (ACHS) napojené na diaľkový rozvod tepla.

Výhody - Nie je potrebné budovať rozvody chladenej vody a tým pádom je možné ľahšie dodržať dané parametre vody.

Nevýhody - Nutnosť použitia viacerých absorpčných jednotiek.

- Potreba dostatočnej teploty v rozvodoch.
- Častejšia akumulácia.



Obr. 6 Schéma decentralizovaného diaľkového chladenia [20]

4.2 Chladiace jednotky v Českej republike

Podobne ako vo svete, aj v Českej republike pôsobí mnoho firiem špecializujúcich sa na dodávanie a montáž chladiacich zariadení. V dnešnej dobe je v prevádzke niekoľko desiatok inštitúcií, ktoré túto technológiu úspešne využívajú, od obchodov, cez hotely až po nemocnice.

4.2.1 Plzeňský pivovar Prazdroj

Realizácia projektu a uvedenie jednotky do prevádzky začala v roku 2003: [6]

- Zdrojom potrebného chladu sú dve chladiace jednotky typu CARRIER 16 JB 068, každá s výkonom $1,5 MW_{ch}$, ktoré sú schopné chladiť vodu až na hodnotu $6\div 12^{\circ}C$
- Absorbentom je Bromid Lítny.
- Energia chladu sa používa na technologické účely sladovne na chladenie jačmeňa pri výrobe sladu v areáli pivovaru.
- Celkové investičné náklady boli 31,5 mil. Kč.

Výroba chladu

Ďalší projekt sa začal v jeseni v roku 2010: [14]

- Došlo k modernizácii chladiaceho zariadenia, ktoré sa týkalo chladenia filtrácie a skladu chmeľu.
- Novou technológiou sa pivo dochladzuje na teplotu 3°C pred stáčaním do fliaš a plechoviek.
- V Prazdroji sa tým pádom nepoužíva chladivo R22, ktorého ekologická likvidácia bola energeticky náročná. Takto sa znížil objem čpavku v systéme chladenia a teda sa stal aj energeticky menej náročný.
- Projekt si vyžiadal investíciu vo výške 12,3 mil. Kč.



Obr. 7 Chladiace veže na streche chladiacej stanice [31]



Obr. 8 Dve absorpčné jednotky Carrier [31]

Výroba chladu

4.2.2 Fakultná nemocnica v Plzni

- Realizácia a uvedenie do prevádzky I. etapy v roku 2004, II. etapy v roku 2007 a III. časti v roku 2010.
- I. etapa: jedna chladiaca jednotka typu CARRIER 16 JB 068 s výkonom $1,5 MW_{ch}$, energia chladu z I. etapy sa používa na klimatizáciu operačných sál, priestorov kuchyne a prádelne.
- II. etapa: jedna chladiaca jednotka typu CARRIER 16 JB 068 s výkonom $692 kW_{ch}$, energia chladu sa používa na klimatizáciu nového gynekologického a pôrodného pavilónu v areáli Fakultnej nemocnice Plzeň - Lochotín.
- III. časť: chladiaca jednotka typu CARRIER SANYO s výkonom $730 kW_{ch}$, energia sa využíva na klimatizáciu onkologického pavilónu.
- Absorbentom je Bromid Lítny. [6], [22]

4.2.3 Europark Shopping Center Praha - Štěrboholy

- Projekt bol realizovaný v roku 2002
- Časť týkajúca sa predajných priestorov obsahovala dodanie klasického kompresorového zdroja chladu, bola vybudovaná strojovňa chladenia, akumulácia chladu do sprinklerovej nádrže (slúžiacej ako hasiace zariadenie) a rozvody ku klimatizačným jednotkám v celom objekte.
- Celkový chladiaci výkon je $2,4 MW_{ch}$.
- 2. časť sa týkala administratívnej budovy a zahrňovala rozvody chladu po celom objekte k 152 fan-coilom (zariadenia na báze konvektora, ktoré sú určené k chladeniu alebo vytápaniu priestorov).
- Celkový chladiaci výkon je $0,3 MW_{ch}$. [15]

4.2.4 Jihočeské muzeum L.B. Schneidera, České Budějovice

- Projekt realizovaný v roku 2006.
- Chladenie a rozvody sa inštalovali v priestoroch depozitárov múzea.
- Zdrojom chladu je absorpčná jednotka s výkonom $0,1 MW_{ch}$. [15]

4.2.5 Parkhotel Plzeň

- Realizácia projektu prebiehala v rokoch 2006 až 2007.
- Inštalovaná bola jedna chladiaca jednotka typu BROAD BDH10IX 37,5/32-6/12-15 s výkonom $120 kW_{ch}$.
- Použitým absorbentom je Bromid Lítny.

Výroba chladu

- Energia chladu je používaná na klimatizáciu konferenčných sál a recepcie v novom kongresovom objekte Parkhotelu v Plzni. [6]

4.2.6 Galerie Slovany, Plzeň

- Inštalácia a uvedenie do prevádzky v roku 2007.
- Súčasťou chladenia je jedna jednotka typu CARRIER SANYO TSA-16 LJ s výkonom $1 MW_{ch}$ s absorbentom Bromidom Lítnym
- Energia chladu sa používa na klimatizáciu administratívnych a komerčných priestorov v novom centre, ktoré bolo v roku 2008 vyhlásené za Stavbu roka. [6]



Obr. 9 Jednotka Carrier SANYO TSA-16LJ [32]

4.2.7 Ďalšie chladiace jednotky v ČR

- Západočeská univerzita v Plzni - I etapa v roku 2003, II. etapa v roku 2006.
 - I.etapa: chladiaca jednotka typu CARRIER 16 JB 021 s výkonom $420 kW_{ch}$.
 - II. etapa: jednotka typu BROAD BDH41IX 95/85-32.5/27-6/12-40 s výkonom $480 kW_{ch}$.
 - Absorbentom je LiBr.
 - Energia chladu sa používa na klimatizáciu výukových priestorov na elektrotechnickej fakulte v Plzni na Borských polích. [6], [22]
- FN Motol, Praha 5 - Realizácia v roku 2007.
 - Využitie odpadového tepla spalovne – centrálny zdroj chladu.
 - Využitie absorpčnej jednotky s výkonom $1,45 MW_{ch}$. [15]
- Shopping Park IKEA, Ostrava - Realizácia v roku 2001.
 - Absorpčná jednotka s výkonom $2,4 MW_{ch}$. [15]

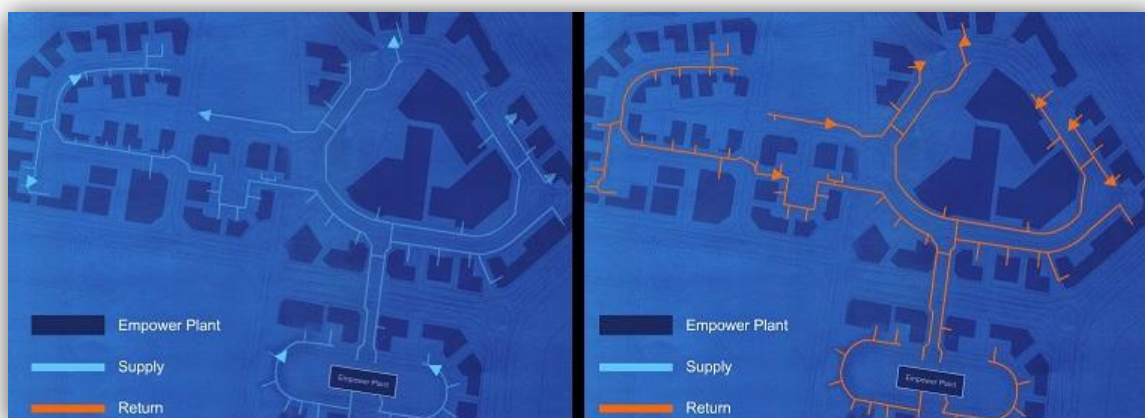
Výroba chladu

- OC FORUM Ústí nad Labem - Projekt realizovaný v rokoch 2009 a 2010.
- Absorpčná jednotka s výkonom $4,9 MW_{ch}$. [15]

4.3 Chladiace jednotky vo svete

Vo vyspelých krajinách sveta sa distribúcia chladu vykonáva prostredníctvom veľkých podzemných sietí rozvodov, ktoré majú aj niekoľko desiatok kilometrov. Tieto rozvody zásobujú chladenou kvapalinou veľké časti miest, čo je prínosom hlavne z hľadiska šetrenia priestoru (jeden komplex jednotiek mimo zastavanej oblasti), elektrickej energie a takisto údržby.

Systém diaľkového chladenia (district cooling) má počiatky už v 19. Storočí, kedy bol predstavený ako proces distribúcie čistého a chladného vzduchu do domov prostredníctvom podzemných trubiek. Prvý známy systém začal svoju prevádzku v Denver's Colorado Automatic Refrigerator Company v roku 1899. V tridsiatych rokoch 20. storočia boli veľké systémy vytvorené aj pre Rockefellerovo centrum v New Yorku a pre budovy Kapitolu U.S.A. vo Washingtone, D.C.. [16]



Obr. 10 Schéma diaľkového chladenia budov [16]

4.3.1 Diaľkové chladenie v Štokholme [17]

V hlavnom meste Švédska sa využíva chladiaci systém, ktorý využíva chladnú vodu z Baltského Mora a takto je centrum mesta schopné plniť veľkú časť požiadaviek týkajúcich sa chladu počas celého roka. Projekt bol zriadený v roku 1995 a v dnešnej dobe zásobuje chladnou vodou viac ako 600 rôznych budov. Celá sieť má dĺžku 204 kilometrov a nainštalované jednotky poskytujú výkon $220 MW_{ch}$, čo v roku 2011 predstavovalo hodnotu $350 GWh$ a tým sa ušetrilo veľké množstvo elektrickej energie.

Výroba chladu

Štokholm má výhodu veľmi dobrých prírodných podmienok. Rúrky, ktoré sú ponorené do vody, sú v hĺbke iba 20 metrov, čo výrazne znižuje náklady oproti iným projektom, pri ktorých je požadovaná teplota vody v hĺbke až 1000 metrov.

Celá prevádzka na výrobu a distribúciu chladu je umiestnená 4 kilometre od hlavného mesta. Má 2 prívody - jeden na morskom dne v hĺbke 20 metrov a druhý na hladine. Voda prechádza 6 titánovými výmenníkmi tepla a potom sa buď vracia do tepelných čerpadiel alebo sa vypúšťa späť do mora. Chladivo sa potom distribuuje cez sieť potrubí do Štokholmu. Tento proces nemá žiaden negatívny vplyv na more či oceán a takisto sa nepoužívajú zložky poškodzujúce atmosféru.



Obr. 11 Potrubie v Štokholme umiestnené na hladine [17]

Výroba chladu



Obr. 12 Potrubný tunel rozvodu chladu [17]

4.3.2 Diaľkové chladenie v Paríži

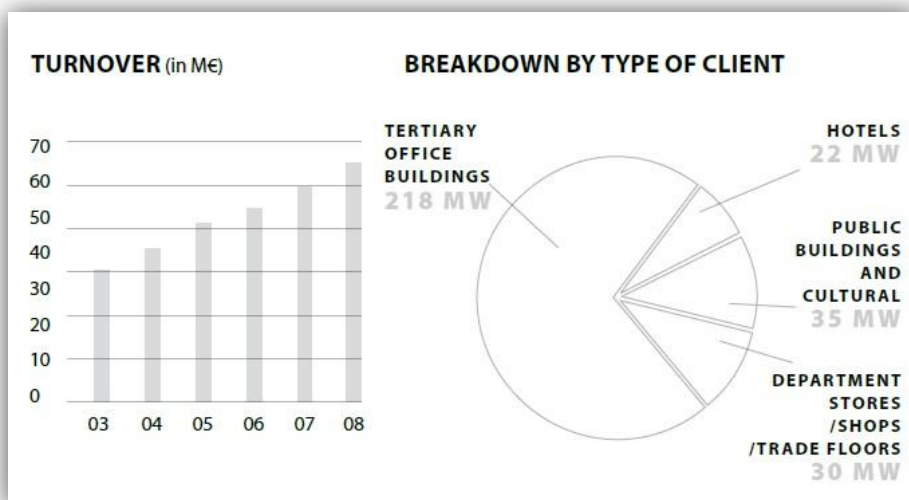
Projekt výstavby sa začal v roku 1991 a do dnešnej doby bola vybudovaná viac ako 70 kilometrová sieť potrubí umiestnená v kanalizácii alebo v podzemí. Táto sieť patrí medzi najdlhšie a najväčšie na svete. Až 85% z celkovej dĺžky siete je pravidelne kontrolovaná. Hlavná sieť, nazvaná „Centre“, zabezpečuje dodávku chladu pre 1., 2., 7., 8., 9. a 16. mestskú časť („arrondissement“). Druhá, nezávislá sieť „Bercy“ zasa leží pod 12. a 13. mestskou časťou. [18]

Celý komplex obsahuje 6 centrálnych jednotiek a dosahuje výkon $305 MW_{ch}$, ktorými zásobuje viac ako 450 objektov v Paríži. Tie sa rozprestierajú na 5 miliónoch štvorcových metroch a od roku 1992 sa investičné náklady vyšplhali na 360 mil. €. Týmto sa zredukovalo množstvo emisií CO_2 až o 40%. [27]

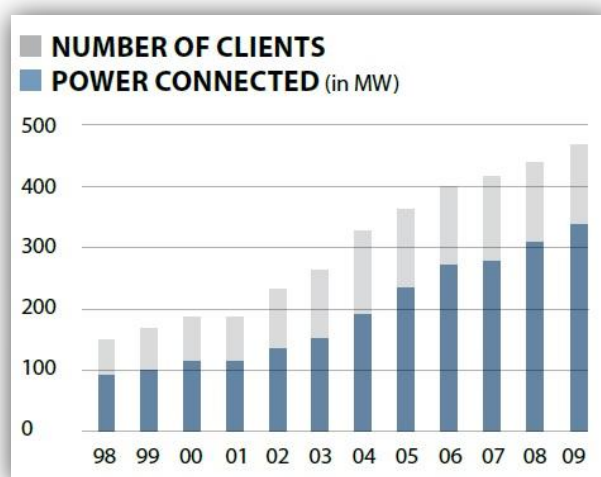
Technické parametre:

- Pracovné podmienky - Chladená voda - $4\div 14^{\circ}C$, max. 16 bar
- Prívod - Polyuretub 130 - ND 500 - 12 m dlhé potrubia
- Hlavné potrubie - Zvárané čierne oceľové rúry
- Izolácia - Polyuretánová pena: $\lambda < 0,027 \frac{W}{m.K}$
- Vonkajší obal - Polyetylén

Výroba chladu



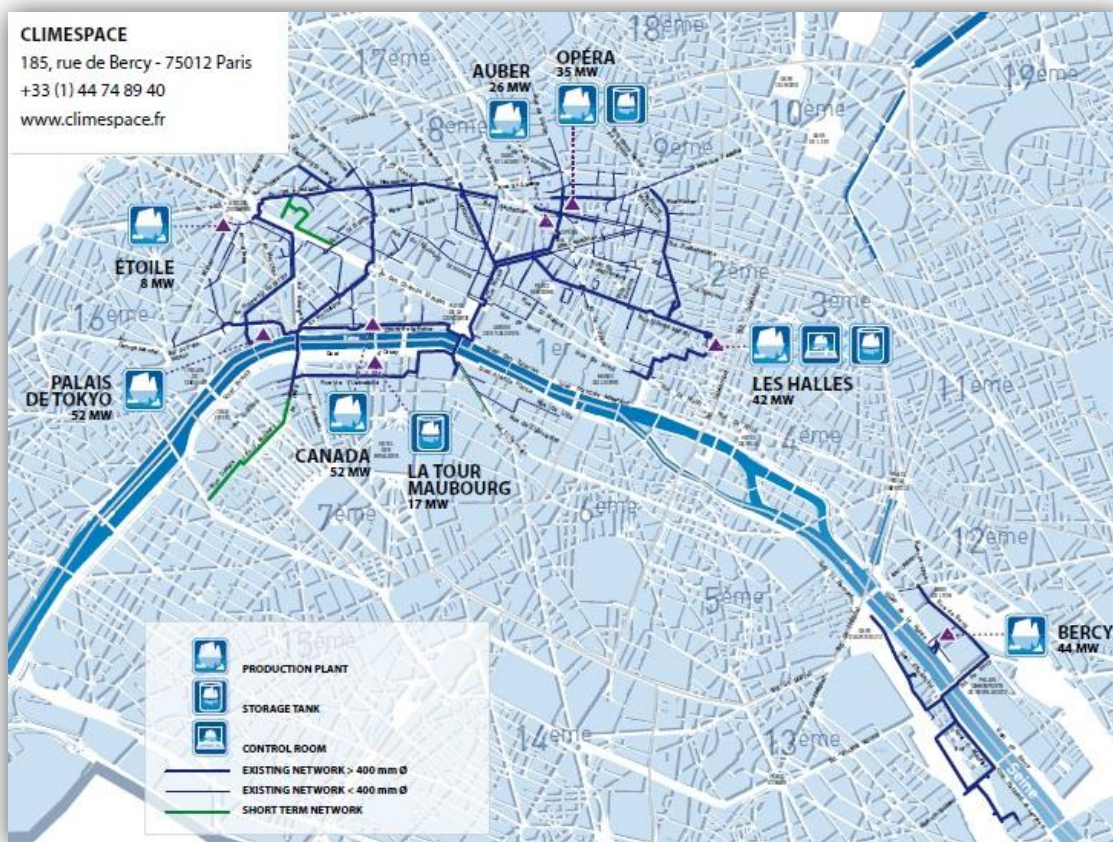
Obr. 13 Obraty v rokoch 2003-2008 a podiel výkonu podľa typu budov [27]



Obr. 14 Počet zákazníkov a množstvo spotrebovanej energie v rokoch 1998-2009 [27]

Ako je vidieť z predchádzajúcich dvoch obrázkov, obraty (turnover in M€) majú každoročne stúpajúcu tendenciu, v roku 2008 to bolo už 65 miliónov eur. Čo sa týka rozdelenia klientely (breakdown by type of client), až 72% (218 MW) celkového výkonu je použitých na chladenie budov tretieho sektoru (tertiary office buildings), čiže budov služieb, ako napríklad obchodu alebo dopravy. Ďalej nasledujú s 11% podielom verejné a kultúrne budovy (public buildings and cultural), 10% oddelenie obchodov (department od shops/stores) a 7% hotely (hotels). Rastie takisto aj počet zákazníkov (number of clients) a celkové množstvo spotrebovanej energie (power connected). V roku 2009 sa počet chladených budov blížil k 500 a tie spotrebovali ročne takmer 350 MW energie.

Výroba chladu



Obr. 15 Sieť distribúcie chladu v Paríži [27]

4.3.3 Centralizovaná klimatizácia v Barcelone [19]

22@ bola prvá časť Barcelony, ktorá bola vybavená centralizovanou klimatizáciou. Ide o projekt, ktorý ušetrí až 40% energie a dokáže vyhovieť až 70% požiadaviek v tejto oblasti. Počas medzinárodného podujatia Forum of Cultures v roku 2004 bola postavená centrálna jednotka Besos, ktorá zásobovala hlavné budovy v okolí.

S ich vzrastajúcim sa počtom bola nainštalovaná ďalšia podporná jednotka v Audiovisual parku a tá bola prepojená s centrálnou.

Technické parametre:

- Pracovné podmienky - Chladená voda - $6 \div 12^{\circ}\text{C}$, max. 13 bar
- Horúca voda - $110 \div 75^{\circ}\text{C}$, max. 15 bar
- Prívod - Polyuretub 130 - ND 50 až 800 - 12 m dlhé potrubia
- Hlavné potrubie - Zvárané čierne oceľové rúry
- Izolácia - Polyuretánová pena: $\lambda < 0,027 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}$, Vonkajší obal - Polyetylén
- Inštalácia sieťového monitorovacieho systému

Výroba chladu



Obr. 16 Rozvodné potrubia, Barcelona [20]

4.3.4 Další aplikace jednotek

- 33. Okrsek Newyorské policie - 2 absorpční chladiče s plynovým spalováním 180 TR (633 kW) od firmy Thermax z důvodu nízkých nákladů na plyn v letním období. [13]



Obr. 17 33. Okrsek NYPD, Manhattan [13]

- National Portrait Gallery v Londýně - Kotle v galérii splňali podmínky na vykurovanie aj chladenie, preto bol nainštalovaný absorpčný chladič Thermax 125 TR (440 kW), ktorý využíva paru z kotla. Je takisto ekologický, pretože pracuje bez freónov. [13]

Výroba chladu



Obr. 18 National Portrait Gallery [13]

- Letisko, Sydney [21] - inštalácia trigeneračných jednotiek od firmy Tedom v projekte QANTAS
 - Terminál 3 - Elektrický výkon 3,2 MW
 - Kapacita chladenia 4 MW
 - Tepelný výkon 4 MW
 - Jet Base - Elektrický výkon 8,6 MW
 - Kapacita chladenia 10 MW
 - Elektrické chladenie 8 MW
 - Tepelný výkon 10 MW
- State University of New York v Albany - inštalácia dvojstupňového vysokoteplotného chladiča vyhrievaného horúcou vodou s chladiacou kapacitou 5274 kW [13]

Výroba chladu

5. VÝPOČTY

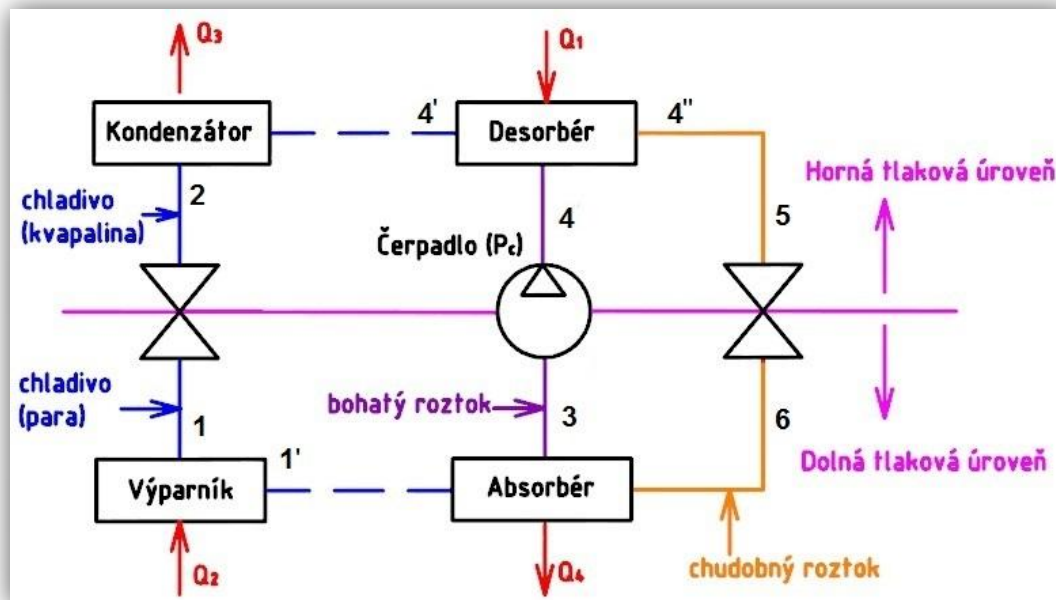
5.1 Vyhodnotenie absorpčnej chladiacej jednotky

Nasledujúci postup riešenia a rovnice boli prevzaté a preložené z knihy *Heat conversion systems* od autorov Georga Alefelda a Reinharda Radermachera [28].

Pracovnými látkami sú voda, použitá ako chladivo a vodný roztok Bromidu Lítneho (LiBr) použitého ako absorbent. Vyparovacia teplota je 5°C , najnižšia teplota v absorbéri a kondenzátore je 40°C . Predpokladáme, že kvapalina v absorbéri a na výstupe z desorbéra je nasýtená. Koncentrácia silného absorbentu je 63%.

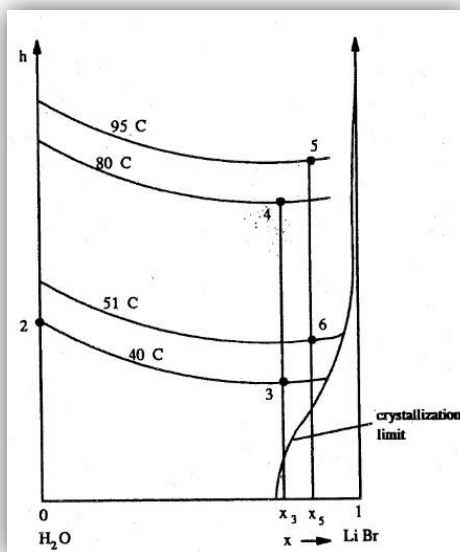
Budeme sa zaoberať týmito tromi záležitosťami:

- Aká je výsledná rýchlosť toku v čerpadle, ak uvažujeme 1 kg chladiva, ktoré cirkuluje cez výparník?
- Aké je množstvo tepla, ktoré sa vymení vo výparníku, kondenzátore, absorbéri, desorbéri a riešenom výmenníku tepla, pričom uvažujeme 1 kg pary chladiva?
- Aký je pomer COP_c systému?



Obr. 19 Schéma absorpcie s hlavnými stavovými bodmi [20], [28]

Výroba chladu



Obr. 20 Schematický i-x (h-x) diagram [28]

Obr. 24 znázorňuje obeh s hlavnými stavovými bodmi, ktoré sú takisto vyznačené v i-x diagrame voda - Bromid Lítny (obr. 25). Bod 1 reprezentuje vodu vo výparníku v kvapalnom stave s teplotou 5°C. Vyparovací tlak podľa p-t-x diagramu (obr. 26) je 0,87 kPa a zodpovedajúca entalpia je 21 kJ/kg. Para v rovnováhe s kvapalnou vodou (bod 1') má entalpiu 2510 kJ/kg. Táto hodnota je získaná z t-s diagramu vody. V bode 2 je kondenzačný tlak 7,4 kPa a entalpia 168 kJ/kg. V bode 3 má bohatý roztok opúšťajúci absorbér koncentráciu 0,578, ktorá bola odčítaná z obr. 26 ako priesečník izobary (0,87 kPa) s izotermou (40°C). Hodnota príslušnej entalpie, 106 kJ/kg, bola odčítaná z i-x diagramu (obr. 27) ako priesečník koncentrácie (0,578=57,8%) s izotermou 40°C. Tento bod máme takisto vyznačený v schematickom i-x diagrame (obr. 25). Bod 5 predstavuje výstup z desorbéra a tam má teplota hodnotu 95°C. Tú môžeme takisto nájsť aj v p-t-x diagrame ako priesečník kondenzačného tlaku (7,4 kPa) s koncentráciou 0,63. V schematickom i-x diagrame môžeme zistiť entalpiu tohto bodu ako priesečník koncentrácie (0,63) s izotermou (86°C) a jej hodnota je 226 kJ/kg. Bod 4 je začiatkom desorpčného procesu. Teplota v tomto bode je 80°C a je opäť získaná z p-t-x diagramu ako priesečník vysokého tlaku (7,4 kPa) a koncentrácie (0,578). Priesečník tej istej koncentrácie s izotermou (80°C) nám v i-x diagrame určuje entalpiu 207 kJ/kg, čo máme zaznačené aj v schematickom diagrame. Bod 6 označuje začiatok absorpčného procesu s teplotou 51°C, ktorú sme opäť získali z p-t-x diagramu ako priesečník nízkeho tlaku (0,87 kPa) a koncentrácie 0,63. Analogicky s predchádzajúcim bodom sme našli entalpiu pre bod 6, ktorá má hodnotu 154 kJ/kg. Para opúšťajúca desorbér (bod 4') má predpokladanú teplotu 80°C. Jej entalpia pre tlak 7,4 kPa je 2650 kJ/kg. Z t-s diagramu vody určíme stavový bod 3, ktorý sa nachádza v oblasti prehriatej pary (ako priesečník izobary 7,4 kPa s izotermou 80°C). Všetky hodnoty sú zhrnuté v nasledujúcej tabuľke.

Výroba chladu

Stav. bod	t [°C]	p [kPa]	i [kJ/kg]	x
1	5	0,87	21	0
1'	5	0,87	2510	0
2	40	7,4	168	0
3	40	0,84	106	0,578
4	81	7,4	189	0,578
4'	81	7,4	2650	0
4''	69	7,4	172	0,578
5	92	7,4	226	0,63
6	51	0,87	154	0,63

Tab. 2 Stavové body a ich vlastnosti [28]

- a) Výpočty sú uskutočnené pre 1 kg pary prechádzajúcej výparníkom. Predpokladaná koncentrácia pary, ktorá odchádza z desorbéra, x_v je 0, čiže v tejto fáze neobsahuje žiadnu soľ. Výsledná rýchlosť toku čerpadlom vychádza z použitia hmotnostnej rovnováhy pre soľ v desorbéri a jej hodnota je teda:

$$f = \frac{x_v - x_5}{x_3 - x_5} = \frac{0 - 0,63}{0,578 - 0,63} = 12,1 \quad (1)$$

- b) Merné teplo pary q_p z bodu 3 do bodu 4 vyjadríme ako:

$$q_p = f \cdot (i_4 - i_3) = 12,1 \cdot (189 - 106) = 1004 \text{ kJ/kg} \quad (2)$$

Merné teplo pary q_r z bodu 5 do bodu 6 vyjadríme ako:

$$q_r = (f - 1) \cdot (i_5 - i_6) = 11,1 \cdot (226 - 154) = 799 \text{ kJ/kg} \quad (3)$$

Množstvo premeneného tepla je teda 799 kJ/kg. Para z bodu 5 do bodu 6 bola teda ochladená na teplotu T_6 , pričom para z bodu 3 do bodu 4 nebola ohriata na teplotu T_4 . Entalpia pre kvapalinu odchádzajúcu z tepelného výmenníka je stanovená za predpokladu, že merné teplo q_p musí byť rovné q_r :

$$i_{4''} = i_3 + \frac{q_r}{f} = 106 + \frac{799}{12,1} = 172 \text{ kJ/kg} \quad (4)$$

Teplota v tomto bode je 73°C, čo sme zistili z i-x diagramu. Týmto sme zistili všetky potrebné entalpie a môžeme teda vypočítať zvyšné hodnoty merného tepla. Pre merné teplo vo výparníku q_e a v kondenzátore q_c platí:

$$q_e = i_{1'} - i_2 = 2510 - 168 = 2342 \text{ kJ/kg} \quad (5)$$

$$q_c = i_{4'} - i_2 = 2650 - 168 = 2382 \text{ kJ/kg} \quad (6)$$

Výroba chladu

Merné teplo pre absorbér q_a a desorbér q_d vyjadríme z rovníc:

$$q_a = i_1' - i_6 + f \cdot (i_6 - i_3) = 2510 - 154 + 12,1 \cdot (154 - 106) = 2937 \text{ kJ/kg} \quad (7)$$

$$q_d = i_4' - i_5 + f \cdot (i_5 - i_4'') = 2650 - 226 + 12,1 \cdot (226 - 172) = 3077 \text{ kJ/kg} \quad (8)$$

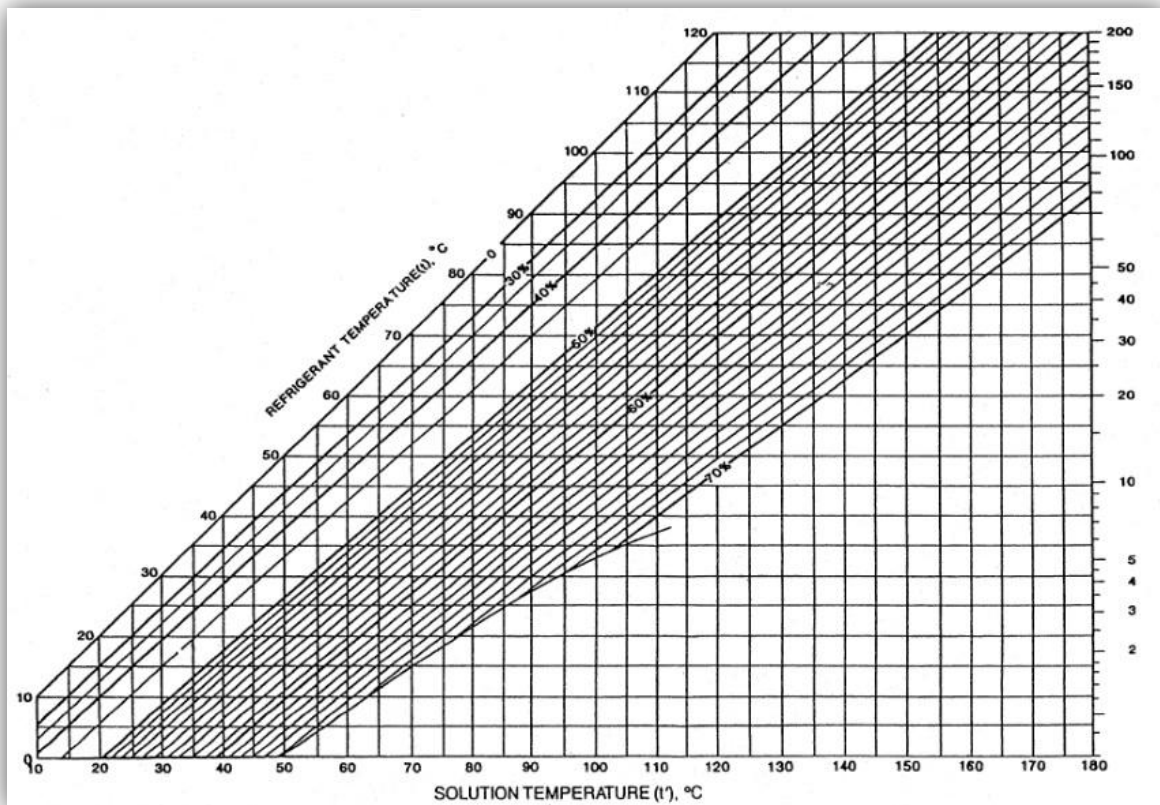
Overenie energetickej rovnováhy:

$$q_d + q_e - q_c - q_a = 3077 + 2342 - 2482 - 2937 = 0 \text{ kJ/kg} \quad (9)$$

c) Pomer COP_C systému je:

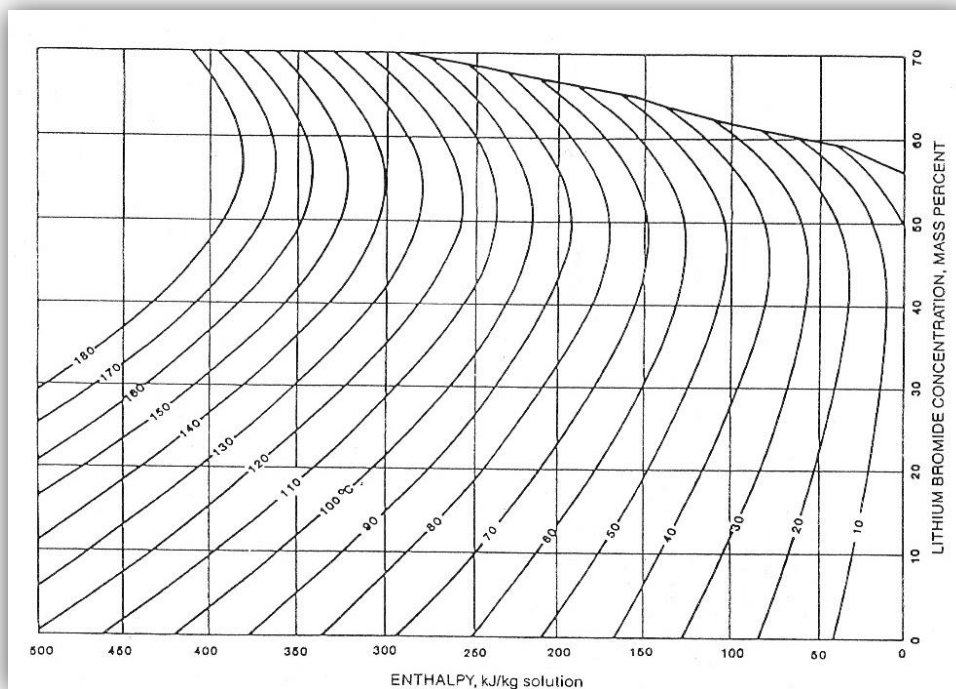
$$COP_C = \frac{q_e}{q_d} = 0,76 \quad (10)$$

Tento pomer vyjadruje, že pre každú jednotku tepla dodaného do desorbéra vyprodukuje absorpčný systém 0,76 jednotky chladu.



Obr. 21 p-t-x diagram H₂O - LiBr [28]

Výroba chladu



Obr. 22 i-x diagram H₂O-LiBr [28]

V ďalšej časti vypočítame celkový výkon jednotky a tým pádom určíme aj cenu energie potrebnú na daný výkon, ktorého hodnota 100kW bola zvolená.

Hmotnostný tok \dot{m} vypočítame zo vzťahu:

$$\dot{m} = \frac{P}{q_e} = \frac{100}{2342} = 0,0427 \text{ kg/s} \quad (11)$$

Merná práca čerpadla a_ζ je rozdielom entalpií medzi bodmi 4 a 3:

$$a_\zeta = i_4 - i_3 = 189 - 106 = 83 \text{ kJ/kg} \quad (12)$$

Potom pre výkon čerpadla P_ζ a desorbéra P_d platí:

$$P_\zeta = a_\zeta \cdot \dot{m} = 83 \cdot 0,0427 = 3,54 \text{ kW}_{el} \quad (13)$$

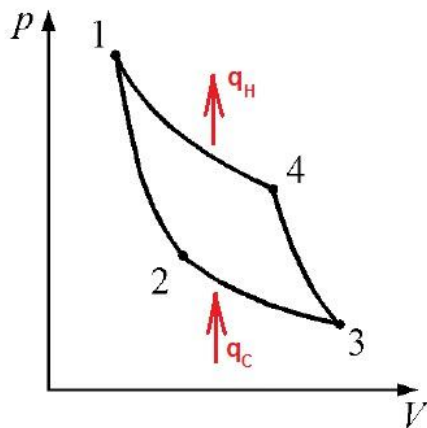
$$P_d = q_d \cdot \dot{m} = 3077 \cdot 0,0427 = 131,38 \text{ kW}_t \quad (14)$$

Ďalej budeme predpokladať, že jednotku využívame štvrtinu roka po dobu 15 hodín denne, čo je 1369 hodín, ktoré zaokrúhlime na 1500 h. Spotreba čerpadla za túto dobu je teda 5310 kWh a desorbéra 197 070 kWh, resp. 709,45 GJ. Pri cene 0,124 € (3,22 Kč) za kWh elektriny [29] a 561,55 Kč za GJ tepla [30] budú prevádzkové náklady na zariadenie 17 098 Kč za elektrinu a 398 440 Kč za teplo, čo dokopy predstavuje sumu približne 415 540 Kč na prevádzku tohto zariadenia. V tomto výpočte takisto neuvažujeme prevádzku vývevy na vytvorenie vákua, predpokladáme, že sa počas prevádzky vákuum neodsáva.

Výroba chladu

5.2 Výpočet účinnosti Carnotovho cyklu

V nasledujúcom výpočte určíme účinnosť obráteného Carnotovho cyklu, ktorý reprezentuje ideálne chladiace zariadenie. Pracovnou látkou bude vzduch, počiatočné hodnoty teplôt a tlakov sú pre názornosť rovnaké, ako maximálne resp. minimálne hodnoty v predchádzajúcom výpočte. Celý výpočet je riešený pre 1 kg vzduchu, preto budú použité merné veličiny.



1→2 adiabatická expanzia $W_1 > 0$, $Q_1 = 0$

2→3 izotermická expanzia $W_2 > 0$, $-Q_2 < 0$

3→4 adiabatická kompresia $-W_3 < 0$, $Q_3 = 0$

4→1 izotermická kompresia $-W_4 < 0$, $Q_4 > 0$

Obr. 23 Obrátený Carnotov cyklus v p-V diagrame

Stanovené hodnoty:

$$t_2 = t_3 = t_C = 5^\circ\text{C} = 278,15\text{ K}$$

$$p_3 = p_{\min} = 2\text{ kPa}$$

$$t_1 = t_4 = t_H = 92^\circ\text{C} = 365,15\text{ K}$$

$$p_1 = p_{\max} = 10\text{ kPa}$$

Vzduchu, ako pracovnej látky, prislúchajú tieto konštanty:

Plynová konštanta

$$r = 287\text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$$

Poissonova konštanta

$$\kappa = 1,4$$

Merná tepelná kapacita pri stálom tlaku

$$c_p = 1,008\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$$

Pomocou stavovej rovnice vyjadríme merné objemy v_1 a v_3 :

$$v_1 = \frac{r \cdot t_1}{p_1} = 10,48\text{ m}^3/\text{kg} \quad (15)$$

$$v_3 = \frac{r \cdot t_3}{p_3} = 39,91\text{ m}^3/\text{kg} \quad (16)$$

Výroba chladu

Dej od stavového bodu 1 do bodu 2 je adiabatický a teda platí vzťah:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \quad (17)$$

Vyjadriť si teda najprv tlak p_2 a následne pomocou stavovej rovnice aj merný objem v_2 :

$$p_2 = p_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 3857,69 \text{ Pa} \quad (18) \quad v_2 = \frac{r \cdot T_2}{p_2} = 20,69 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (19)$$

Dej 3→4 je takisto adiabatický, preto môžeme postupovať analogicky a použiť rovnaké vzťahy ako v predošlom prípade:

$$p_4 = p_3 \cdot \left(\frac{T_4}{T_3}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 5184,45 \text{ Pa} \quad (20) \quad v_4 = \frac{r \cdot T_4}{p_4} = 20,21 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (21)$$

Prijaté a odovzdané teplo vypočítame pomocou 1. formy I. zákona termomechaniky:

$$q = \Delta u + a_o \quad (22) \quad dq = m \cdot c_v \cdot dT + p \cdot dv \quad (23)$$

Keďže príjem aj odovzdávanie tepla prebieha na izotermách ($dT = 0$), pre teplo q_H teda platí:

$$q_H = \int_4^1 p \, dv = \int_4^1 \frac{r \cdot T}{v} \, dv = r \cdot T_H \cdot \ln \frac{v_1}{v_4} = -68,8 \text{ kJ/kg} \quad (24)$$

Analogicky pre teplo q_C :

$$q_C = \int_2^3 p \, dv = \int_2^3 \frac{r \cdot T}{v} \, dv = r \cdot T_C \cdot \ln \frac{v_3}{v_2} = 52,4 \text{ kJ/kg} \quad (25)$$

Hodnota mernej objemovej práce cyklu je:

$$a_o = |q_H| - q_C = 16,4 \text{ kJ/kg} \quad (26)$$

Účinnosť obráteného Carnotovho cyklu je napokon:

$$\eta_t = \frac{a_o}{q_C} \cdot 100 = 31,28 \% \quad (27)$$

Aj v tomto prípade vypočítame príkon kompresora potrebný na výrobu 100 kW chladu. Takisto určíme jeho spotrebu a náklady na prevádzku za 1500 hodín v roku, počas ktorých by sme jednotku využívali.

Výroba chladu

Hmotnostný tok vypočítame zo vzťahu:

$$\dot{m} = \frac{P}{q_c} = \frac{100}{52,4} = 1,908 \frac{kg}{s} \quad (28)$$

Merná práca kompresora v ideálnom obehu je:

$$a_k = c_p \cdot (T_1 - T_2) = 1,008 \cdot (365,15 - 278,15) = 87,696 \text{ kJ/kg} \quad (29)$$

Výkon kompresora potom určíme ako:

$$P_k = a_k \cdot \dot{m} = 87,696 \cdot 1,908 = 167,3 \text{ kW} \quad (30)$$

Spotreba za dané obdobie je približne 251 MWh a pri rovnakej sadzbe za elektrinu, ako v prípade absorpčnej jednotky (0,124 € (3,22 Kč) za kWh [29]) by prevádzka tohto obehu stála približne 808 000 Kč. Je nutné zdôrazniť, že ide o ideálny cyklus, preto by sa potrebný príkon kompresora potrebný na výrobu 100 kW chladu ešte zvýšil a tým pádom by vzrástli aj prevádzkové náklady.

Pri porovnaní nákladov na 1500 hodinovú prevádzku reálnej absorpčnej a ideálnej kompresorovej jednotky je výhodnejšia absorpčná jednotka, pri ktorej by sme v danom období ušetrili takmer 400 000 Kč.

Výroba chladu

6. LEGISLATÍVA A OCHRANA ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA

6.1 Legislatíva ČR

- Zákon č. 262/2006 Sb., zo dňa 7.6.2006 (platí od 1.1.2007) - Zákonník práce.
- Nařízení vlády č. 378/2001 Sb., zo dňa 12.9.2001, ktorým sa stanovujú bližšie požiadavky na bezpečnú prevádzku a používanie strojov, technických zariadení, prístrojov a náradia. [23]
- Zákon č. 309/2006 Sb., zo dňa 23.5.2006, ktorým sa upravujú ďalšie požiadavky bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci v pracovnoprávných vzťahoch a o zaistení bezpečnosti a ochrany zdravia pri činnosti alebo poskytovaní služieb mimo pracovnoprávne vzťahy (zákon o zaistení ďalších podmienok bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci). (§ 9 Odborná spôsobilosť). [23]
- Zákon č. 124/2000 Sb., zo dňa 15.4.2000, ktorým sa mení zákon č. 174/1968 Sb., o štátnom odbornom dozore nad bezpečnosťou práce, v znení neskorších predpisov. [23]

6.2 ČSN EN 378-1+A2:2012

Touto normou sa nahradzuje ČSN EN 378-1+A1 (14 0647) z júna 2011. Táto európska norma sa vzťahuje na bezpečnostné a environmentálne požiadavky pri projekte, konštrukcii, výrobe, inštalácii, prevádzke, údržbe, opravách a likvidácii chladiacich zariadení a spotrebičov vo vzťahu k lokálnemu a globálnemu prostrediu, ale nevzťahuje sa však na konečnú deštrukciu (likvidáciu) chladív. Termín „chladiace zariadenia“, používaný v tejto európskej norme zahŕňa takisto tepelné čerpadlá. [24]

EN 378 obsahuje nasledujúce časti pod obecným názvom Chladiace zariadenia a tepelné čerpadlá – Bezpečnostné a environmentálne požiadavky: [24]

Časť 1: Základné požiadavky, definície, klasifikácia a kritéria voľby

Časť 2: Konštrukcia, výroba, skúšanie, značenie a dokumentácia

Časť 3: Inštalačné miesto a ochrana osôb

Časť 4: Prevádzka, údržba, oprava a rekupérácia

6.3 Montrealsky a Kyótsky protokol

Montrealský protokol bol prijatý v roku 1987 v Montreale. Hlavnou prioritou bolo vylúčenie výroby a spotreby regulovaných látok (RL), medzi ktoré zaradzujeme hlavne plne halogénové chladivá (CFC) a čiastočne halogénové chladivá (HCFC). [24]

Výroba chladu

Kyótsky protokol bol prijatý v roku 1997 a štáty sa v ňom zaviazali redukovať emisie skleníkových plynov, medzi ktoré patria regulované látky, ale aj fluorované skleníkové plyny, tzv. F-plyny alebo freóny (HFC), ktoré zahŕňajú väčšinu chladiacich látok. [24]

Aby sa mohli tieto látky z hľadiska škodlivosti pre životné prostredie porovnávať, boli zavedené veličiny ODP a GWP. ODP (ozone depletion potential) je relatívne množstvo poškodenia ozónovej vrstvy. Pre zlúčeninu Trichloro-fluormetán (Freón-11, CFC-11, alebo R-11) bola stanovená hodnota ODP=1. GWP (global warming potential) porovnáva množstvo tepla vylúčeného určitým plynom s množstvom tepla vylúčeného oxidom uhličitým (CO_2), ktorý má stanovený GWP=1. Hodnota GWP sa stanovuje pre dlhší časový interval, najčastejšie je to 20, 100 a 500 rokov. Hodnoty ODP a GWP pre niektoré vybrané plyny sú uvedené v nasledujúcich tabuľkách.

Chemický názov	Značka	Životnosť (roky)	ODP
Trichloro-fluorometán	CFC-11 (CCl_3F)	45	1
Trichloro-trifluoroetán	CFC-113 ($C_2F_3Cl_3$)	85	0,8
Monochloro-pentafluoroetán	CFC-115 (C_2F_5Cl)	1700	0,6
Bromo-trifluorometán	Halon 1301 (CF_3Br)	65	10
Metyl Bromid	CH_3Br	0,7	0,6
Chloro-bromometán	CH_2BrCl	0,37	0,12
Dichloro-fluorometán	HCFC-21 (CH_2Cl_2)	1,7	0,04
Dichloro-pentafluoropropán	HCFC-225ca ($C_3HF_5Cl_2$)	1,9	0,025

Tab. 3 Hodnoty ODP pre vybrané plyny [25]

Chemický názov	Značka	Životnosť (roky)	GWP		
			20 rokov	100 rokov	500 rokov
Oxid Uhličitý	CO_2	nestála	1	1	1
Metán	CH_4	12±3	56	21	7
Oxid Dusný	N_2O	120	280	310	170
Trifluorometán	CHF_3 (HFC-23)	264	9 100	11 700	9 800
Pentafluoroetán	C_2HF_5 (HFC-125)	33	4 600	2 800	920
Difluoroetán	$C_2H_4F_2$ (HFC-152a)	2	460	140	42
Sulfur hexafluorid	SF_6	3 200	16 300	23 900	34 900
Perfluorometán	CF_4	50 000	4 400	6 500	10 000

Tab. 4 Hodnoty GWP pre vybrané plyny [26]

Výroba chladu

6.4 Nariadenie Európskeho parlamentu a rady (ES) č. 1005/2009

Toto nariadenie zo dňa 16.9.2009 pojednáva o látkach, ktoré poškadzujú ozónovú vrstvu. Zároveň nahradilo nariadenie 2037/2000 a vstúpilo do účinnosti 1.1.2010. Medzi najdôležitejšie ustanovenia patrí, že od nadobudnutia platnosti je dovolené za stanovených podmienok používať k servisným účelom iba tie látky HCFC, ktoré sú recyklované a regenerované. Použitie doposiaľ nepoužitých látok HCFC je zakázané. [23]

Nariadenie ďalej zakazuje výrobu regulovaných látok, ich distribúciu v jednorazových nádobách, uvádzanie na trh výrobkov alebo zariadení, ktoré obsahujú RL alebo sú na nich závislé. Takisto je zákaz dovozu RL (s výnimkou RL, ktoré sú určené k zneškodneniu) a taktiež vývozu RL alebo výrobkov, ktoré RL obsahujú alebo sú na nich závislé. Regulované látky je možné v zariadeniach a vo výrobkoch, v ktorých sú používané ako chladivá ďalej používať. Obmedzený je iba ich servis, ktorý sa vzťahuje jedine na použitie recyklovaného chladiva. Recyklované a regenerované HCFC látky je možné používať iba do 31.12.2014. Zariadenia, v ktorých sú regenerované alebo recyklované HCFC látky použité, musia byť označené. [23]

Ďalej v tomto nariadení nájdeme informácie o povinnosti hlásenia pohybu regulovaných látok, ich zoznam spolu s novo pridanými RL a takisto aj technológiu pre zneškodňovanie týchto látok. [23]

Činnosť	Regulované látky		F - plyny
	CFC	HCFC	HFC
Výroba	zákaz	zákaz s výnimkami	povolené
Dovoz	zákaz	zákaz s výnimkami	povolené
Vývoz	zákaz	zákaz s výnimkami	povolené
Uvádzanie na trh	zákaz	zákaz s výnimkami	povolené
Uvádzanie na trh jednorazových nádob	zákaz		zákaz
Použitie	zákaz	zákaz s výnimkami	iba s certifikátom
Znovuzískavanie	iba s certifikátom		iba s certifikátom
Recyklácia	zákaz	povolené	iba s certifikátom
Regenerácia	zákaz	povolené	iba s certifikátom
Zneškodňovanie	iba s certifikátom		iba s certifikátom

Tab. 5 Zákazy a obmedzenia podľa (ES) č. 1005/2009 [23]

Výroba chladu

6.5 Nariadenie 303/2008 o certifikáciách

Toto nariadenie stanovuje minimálne požiadavky na znalosti a schopnosti potrebné na úspešné zloženie certifikačnej skúšky.

Rozdeľuje pracovníkov do 4 kategórií: [23]

- Kategória I – servisný mechanik pre všetky zariadenia bez obmedzení, kontrola tesnosti, znovuzískavanie, inštalácia, údržba a servis
- Kategória II – môžu vykonávať kontrolu tesnosti, ale nad 3(6) kg chladiva iba nepriamo, znovuzískavanie, inštalácia, údržba a servis zariadení do 3(6) kg chladiva
- Kategória III – znovuzískavanie F-plynov zo zariadení do 3(6) kg chladiva
- Kategória IV – iba kontrola tesnosti bez vstupu do systému

6.6 Zákon č. 483/2008

Tento zákon je novelou zákona č. 86/2002 a zároveň je doplnený vyhláškou č. 279/2009. Zjednocuje legislatívu pre RL a F-plyny. Taktiež hovorí o tom, že znovuzískavanie RL môže vykonávať iba osoba, ktorá vlastní príslušný certifikát. Za zariadenie s obsahom regulovaných látok a F-plynov je vždy zodpovedný prevádzkovateľ.

Prevádzkovateľ zariadení s náplňou RL je povinný zaistiť prostredníctvom certifikovanej osoby kontrolu zariadenia, hlavne kontrolu tesnosti v týchto intervaloch:

- Obsah RL najmenej 3kg (6kg) - raz za 12 mesiacov
- Obsah RL najmenej 30kg - raz za 6 mesiacov
- Obsah RL najmenej 300kg - raz za 3 mesiace

Prevádzkovateľ zariadenia s obsahom najmenej 3kg RL je povinný viesť evidenčnú knihu zariadenia a uschovať ju pre prípad kontroly počas doby 5 rokov. [23]

Vyhláška č. 279/2009 stanovuje vzor evidenčnej knihy zariadenia, spôsob označenia regulovanej látky a výrobku, ktorý ju obsahuje, vzor oznámenia a podávania správ, záväzné postupy pre manipuláciu s regulovanými látkami, F-plynmi alebo zariadeniami obsahujúcimi tieto látky. Taktiež obsahuje pravidlá pre označenie nádoby, výrobku a zariadenia obsahujúceho regulované látky: [23]

- Musí byť pevne pripevnené na výrobku či zariadení
- Veľkosť písma nesmie byť menšia než u ostatného označenia
- Označenie musí zreteľne vystupovať na pozadí aby bolo čitateľné
- Označené musia byť aj hermeticky uzavreté systémy
- Označenie musí byť na štítku alebo v jeho blízkosti a v blízkosti obslužných miest

Výroba chladu

ZÁVER

Výroba chladu má veľkú tendenciu rozrastať sa a dopyt po produkcii sa stále zvyšuje. Vývoj v oblasti absorpčných jednotiek má mnoho výhod, keďže majú nižšiu spotrebu elektrickej energie oproti kompresorovým zariadeniam, majú tiež vysokú životnosť a ich obstarávacia cena pomaly klesá. Takisto majú porovnateľný parameter PER (stupeň využitia primárnej energie), čo je ďalším kladom.

Vo veľkých európskych mestách, ako Paríž, Štokholm či Londýn sú už niekoľko rokov úspešne v prevádzke diaľkové rozvody chladu v celých mestách alebo ich častiach. Ročne sa tak ušetrí veľké množstvo energie a tým aj financií, nehovoriac o šetrnosti k životnému prostrediu. V Českej republike sú chladiacimi zariadeniami vybavené nemocnice, hotely, nákupné centrá a tým je zabezpečený vysoký komfort a teplotná pohoda ľudí.

Veľkým prínosom je doplnenie kogeneračnej jednotky o absorpčnú alebo kompresorovú chladiacu jednotku, keďže sa primárne palivo využije na výrobu elektrickej energie počas celého roka, výrobu tepla v zime a v letných mesiacoch zase na produkciu chladu.

Vo výpočtovej časti sme vyhodnotili absorpčnú jednotku, predovšetkým merné teploty komponentov a parameter COP_C , ktorý má hodnotu 0,76, z čoho vyplýva, že systém je energeticky efektívny. Pri počítaní obráteného Carnotovho cyklu, ktorý predstavoval model kompresorového chladiaceho zariadenia, nám pri stanovených počiatkových podmienkach vyšla účinnosť približne 31%. Ďalej sme porovnávali spotrebu a cenu prevádzkových nákladov oboch jednotiek potrebnú na výrobu 100 kW chladu. V prípade absorpčnej jednotky nám vyšla cena 1500 hodinovej prevádzky absorpčnej jednotky približne 400 000 Kč, čo je takmer 2 krát menej, ako pri ideálnom Carnotovom obehu. V reálnom kompresorovom zariadení by samozrejme náklady ešte vzrástli, preto je absorpčná jednotka vhodnejším variantom pre produkciu chladu.

S rozvojom nových technológií v tejto oblasti sa samozrejme musí dbať aj na ochranu životného prostredia a s tým spojenú spôsobilú výrobu, uchovávanie, prepravu, údržbu aj likvidáciu chladiacich zariadení a plyných látok, ktoré môžu poškodzovať prírodu. O to sa stará predovšetkým vláda, ktorá vydáva príslušné zákony a nariadenia a na širšej úrovni je to potom Európska rada a parlament.

Výroba chladu

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] MCQUISTON, Faye C., Jerald D. PARKER a Jeffrey D. SPITLER. Heating, ventilating, and air conditioning: analysis and design. 6th ed. Hoboken: John Wiley, 2005, 623 s. ISBN 04-714-7015-5.
- [2] MCQUISTON, Faye C a Jerald D PARKER. Heating, ventilating, and air conditioning: analysis and design. New York: Wiley, c1977, xx, 651 p. ISBN 04-710-1722-1.
- [3] CHYSKÝ, Jaroslav a Karel HEMZAL a kol. Větrání a klimatizace: technický průvodce. 3. přepracované. Brno: BOLIT-B Press, 1993. ISBN 80-901574-0-8.
- [4] JEDINÝ, Ladislav. Prínos trigenerácie a úskalia pri jej navrhovaní. Slovgas odborný plynárenský časopis. 2003, [cit. 2012-12-01]. č. 2, s. 25-27. ISSN 1335-3853. Dostupné z: <http://www.szn.sk/Slovgas/Casopis/2003/2/2003_2_09.pdf>
- [5] POSPÍŠIL, Jiří. Chladicí oběhy, trigenerace, dálkové chlazení. TZB-info [online]. 2010, [cit. 2012-12-01]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <<http://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/7910-chladici-obehy-trigenerace-dalkove-chlazení>>
- [6] Leták CHLAD. PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ, a.s. <http://www.pltep.cz/> [online]. [cit. 2012-12-01]. Dostupné z: <<http://www.pltep.cz/upload/File/teplarna-letak-chlad-www.pdf>>
- [7] Ako pracujú tepelné čerpadlá?: Vykurovanie. KLÍMA S.R.O. Klíma info [online]. [cit. 2012-12-08]. Dostupné z: <<http://www.klimainfo.sk/faq/ako-pracuju-tepelne-čerpadla>>
- [8] ČO TREBA VEDIEŤ O TEPELNÝCH ČERPADLÁCH. HAVELSKÝ, Václav. Slovenský zväz pre chladiacu a klimatizačnú techniku [online]. [cit. 2012-12-13]. Dostupné z: <http://www.szchkt.org/a/front_page?page=%2Ftepelne_cerpadla%2Ftepelne_cerpadla.htm>
- [9] KRACÍK, P.; POSPÍŠIL, J.; ŠNAJDÁREK, L. Absorpční cykly. In ENERGIE Z BIOMASY XII: Sborník příspěvků ze semináře. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2011. s. 69-75. ISBN: 978-80-214-4403- 4.
- [10] KRACÍK, P. Současné trendy v kogeneraci. Kotle a energetická zařízení, 2012, roč. 21, č. 1, s. 1-10. ISSN: 1804- 6673.
- [11] Trigenerácia. INTECH SLOVAKIA S.R.O. Intech Slovakia [online]. [cit.2012-12-01].Dostupné z: <<http://www.intechenergo.sk/sekcie/kogeneracia/trigeneracia>>

Výroba chladu

- [12] FRANKOVSKÁ, J., J. KORDÍK, I. SLANINKA, L. JURKOVIČ, V. GREIF, P. ŠOTTNÍK, I. DANANAJ, S. MIKITA, K. DERCOVÁ a V. JÁNOVÁ. Atlas sanačných metod environmentálních záátí [online]. [cit. 2013-02-03]. Štátny geologický ústav Dionýza Štúra Bratislava, 2010. ISBN 978-80-89343-39-3. Dostupné z: <<http://envirozataze.enviroportal.sk/AtlasSanMetod/Jar/default.htm?turl=WordDocuments%2Fadsorpciaaabsorpcia.htm>>
- [13] Absorpční chladiče: Přehled a rozdělení. GB Consulting [online]. [cit. 2013-02-03]. Dostupné z: <<http://www.gbconsulting.cz/clips/gbc-thermax-celkova/index.html>>
- [14] Archiv tiskových zpráv: Prazdroj zprovoznil moderní chladicí systém, přátelštější k životnímu prostředí. Plzeňský Prazdroj [online]. 2011. [cit. 2013-02-07]. Dostupné z: <<http://www.prazdroj.cz/cz/media/archiv-tiskovych-zprav/tiskove-zpravy/983-prazdroj-zprovoznil-moderni-chladici-system-pratelstejsi-k-zivotnimu-prostredi>>
- [15] Reference: Chlazení a vytápění. AIR TECHNIC [online]. [cit. 2013-02-07]. Dostupné z: <<http://www.airtechnic.cz/reference-chlazení-a-vytapení.html>>
- [16] District Cooling. Empower [online]. [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: <<http://www.empower.ae/php/districtcooling.php>>
- [17] Seawater used for district cooling in Stockholm. LIND, L., S. MROCZEK a J. BELL. GNS Science [online]. [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: <<http://www.gns.cri.nz/content/download/7826/42697/file/District%20cooling%20-%20using%20Seawater.pdf>>
- [18] DISTRICT COOLING - Climespace - Paris - France. Inpal Energy [online]. 2011. [cit. 2013-02-10]. Dostupné z: <<http://www.inpal.com/fr/FROID-URBAIN-Climespace-Paris.html>>
- [19] District cooling - 22@ - Barcelone. Inpal Energy [online]. 2011. [cit. 2013-02-10]. Dostupné z: <<http://www.inpal.com/en/FROID-URBAIN-22-Barcelone.html>>
- [20] Obnovitelné zdroje energie v teplotě, dálkové zásobování chladem (absorpční oběhy). POSPÍŠIL, J. Energetický ústav: Odbor energetického inženýrství [online]. 2009. [cit. 2013-02-16]. Dostupné z: <<http://oei.fme.vutbr.cz/teploteni/papers2009/2009-TSCR-Pospisil-OEZ-v-teploteni-a-zasobovani-chladem.pdf>>
- [21] Soubory ke stažení: Významné projekty TEDOM. Tedom [online]. 2012. [cit. 2013-02-17]. Dostupné z: <<http://kogenerace.tedom.com/kogeneracni-jednotky-download.html>>
- [22] COLD ENERGY SUPPLY. PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ, a.s. <<http://www.pltep.cz/>> [online]. [cit. 2013-02-17]. Dostupné z: <<http://www.pltep.cz/upload/File/Teplarna-letak-chlad-2010-AJ-nova-OK-www.pdf>>

Výroba chladu

- [23] CERTIFIKAČNÍ ZKOUŠKY regulované látky a F-plyny: Studijní materiály: LEGISLATIVA A OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Školící středisko chladicí a klimatizační techniky [online]. [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: <<http://www.skoleni.chlazení.cz/res/data/002/000512.pdf>>
- [24] ČSN EN 378-1+A2. Chladicí zařízení a tepelná čerpadla - Bezpečnostní a environmentální požadavky. 2012.
- [25] Class I Ozone-depleting Substances. U.S. Environmental Protection Agency [online]. [cit. 2013-02-24]. Dostupné z: <<http://www.epa.gov/ozone/science/ods/classone.html>>
- [26] Global Warming Potentials. United Nations Framework Convention on Climate Change [online]. [cit. 2013-02-24]. Dostupné z: <http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php>
- [27] Climespace's brochure. Climespace [online]. 2010 [cit. 2013-03-15]. Dostupné z: <<http://www.climespace.fr/eng/content/download/126/2495/version/8/file/CLIM+brochure+techcom+GB-2.pdf>>
- [28] ALEFELD, Georg a Reinhard RADERMACHER. Heat conversion systems. Boca Raton: CRC Press, c1994, 295 p. ISBN 08-493-8928-3.
- [29] Ceny elektřiny pro průmyslové spotřebitele. Eurostat [online]. [cit. 2013-04-24]. Dostupné z: <<http://apl.czso.cz/pll/eutab/html.h?ptabkod=ten00114>>
- [30] Ceny tepla. Teplárny Brno [online]. [cit. 2013-04-24]. Dostupné z: <<http://www.teplarny.cz/cz/cenik-tepla>>
- [31] JANČAR, Rostislav. Teplárna chladí plzeňské pivo párou. Podívejte se jak. Technet.idnes.cz [online]. 2009 [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://technet.idnes.cz/teplarna-chladi-plzenske-pivo-parou-podivejte-se-jak-pcm-/tec_reportaze.aspx?c=A090517_154022_tec_reportaze_rja>
- [32] 16LJ 11-53 Single-Effect Hot Water-Fired Absorption Chillers. Carrier UK [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://www.carrieraircon.co.uk/index.php/chillers/product/16lj_11_53_single_effect_hot_water_fired_absorption_chillers/>

Výroba chladu

ZOZNAM POUŽITÝCH VELIČÍN

Symbol	Jednotka	Názov veličiny
a, q	kJ/kg	Merná práca, merné teplo
c_p	J/kg.K	Merná tepelná kapacita pri konštantnom tlaku
i	kJ/kg	Entalpia
\dot{m}	kg/s	Hmotnostný tok
p	Pa	Tlak
P	W	Výkon
P_p	W	Príkon
Q	J	Teplo
r	J/kg.K	Plynová konštanta
t, T	°C, K	Teplota
v	m ³ /kg	Merný objem
W	J	Práca
x	-	Koncentrácia pary
η	%	Účinnosť
κ	-	Poissonova konštanta
λ	W/m.K	Súčiniteľ tepelnej vodivosti

Výroba chladu

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

Skratka	Význam
COP	Coefficient of Performance (Výkonové číslo)
CFC	Plne halogénové chladivá
GWP	Global Warming Potential
HCFC	Čiastočne halogénové chladivá
HFC	F-plyny (freóny)
ODP	Ozone Depletion Potential (relatívne množstvo poškodenia ozónovej vrstvy)
PER	Primary Energy Rate
RL	Regulované látky